ПРОЈЕКТНА ГЕОМЕТРИЈА

Ситуациони план

- ✓ пројектне линије које приказују ток карактеристичних тачака попречног профила (осовина коловоза, ивице коловоза, ивице планума, границе трасе пута, границе путног појаса и др) и дефинишу њихов положај у хоризонталној равни
- ✓ геометријски облици су углавном комбинација праваца, кружних и прелазних кривина
- ✓ подручја примене са утврђеним распоном геометријских параметара

- правци

  пружа више предности пројектанту и градитељу него кориснику (лако и тачно замишљање, цртање, прорачун и обележавање)

  ретко када најкраћи пут, само најкраћа веза две тачке

  помоћно средство у формирању повијене линије трасе

  тешко се уклапа у сложене услове терена, монотон, смањује се активност возача и пажња

  Lorenz: "Права скоро увек води погрешним правцем, што доказује већ следећа кривина."

  оправдани разлози за примену само за одређене случајеве које диктирају услови локације (постојеће стање изграђености, фиксне регулације, кратке деонице, мостови великих распона и сл)

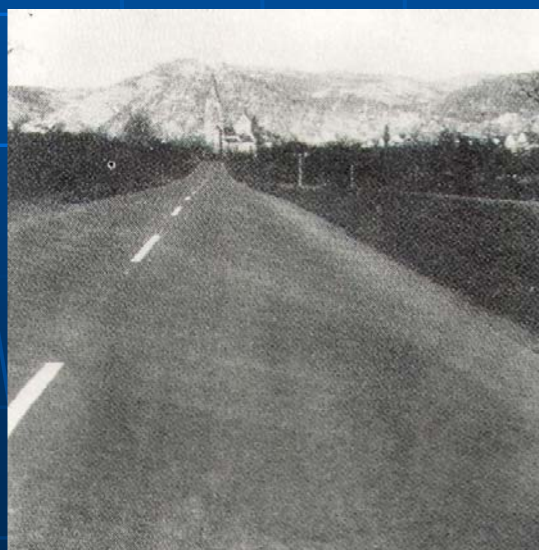
- нема ограничења за примену са возно-динамичке стране
- због саобраћајно-психолошких ефеката треба ограничити дужине деоница у правцу (сагледљивост-max L, прилагођење условима пута-min L)
- међуправац код супротно усмерених кривина $2 \cdot V_r \leq L\ [m] \leq 20 \cdot V_r$, за мање вредности се две контра кривине повезују континуалном кривом (по правилу S крива)
- међуправац код истосмерних кривина $4 \cdot V_r \leq L\ [m] \leq 20 \cdot V_r$ (сагледавање и схватање оштрине закривљености следеће кривине)
- максимална дужина правца $L\ [m] = 20 \cdot V_r$ (приближно дубина видног поља)



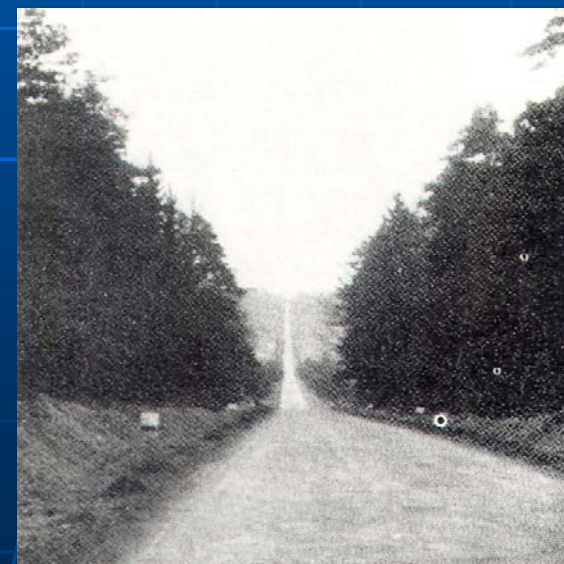
Права велике дужине у равници



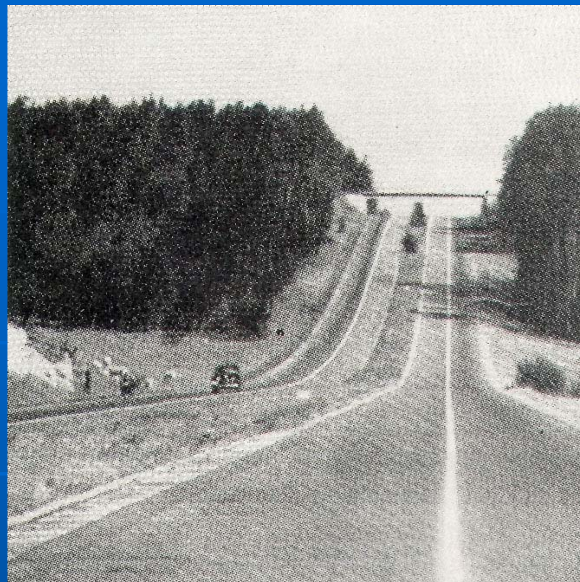
Погрешан правац у брдо



Циљ: црквени торањ



Удобно обележавање



“Небеска врата”



Разбијање монотоније



Исцепканост



Мост великог распона


Изломљени лук


Стари путеви


Аутопутеви


Кратка међуправа


Три временска периода обликовања

- ✓ кружне кривине

флексибилно повијање трасе ради савлађивања препрека

најпростији облик - кружни лук

крива линија константне закривљености 1/R=const.

постоје одређени утицаји на возила у кретању за разлику од правца

минимални радијус (возно-динамички односи, у најоштријој кривини обезбедити кретање меродавном рачунском брзином са искоришћењем пуне вредности радијалног коефицијента трења и максималног попречног нагиба)

$$\min R = \frac{V_r^2}{127 \cdot (\max f_R + \max i_p)} \quad [m]$$

за max f_R и max i_p=7 %

Vr [km/h]	40	50	60	70	80	90	100	110	120
min R [m]	50	80	120	180	250	350	450	600	750

- минимални радијус се примењује само тамо где би већи радијус био неприхватљив због инвестиционих последица
- максимални радијус нема ограничења са возно-динамичке стране (што је већи радијус, мање су бочне силе)
- ограничити на вредност када се не губи осећај закривљености (искуствена препорука)
- сувише благе кривине дају утисак поремећеног правца (нарочито за R≥10.000 m)
- препоручује се max R=5.000 m

објективнија слика-интервал параметара кружних кривина, које у међусобним комбинацијама остварују складне облике max R/min R~6

изузетак планински путеви са серпентинским завојима

$$L_k = \frac{R \cdot \pi \cdot \alpha}{180^\circ}$$

$$T_g = R \cdot tg \frac{\alpha}{2}$$

$$B = R \cdot (\sec \frac{\alpha}{2} - 1)$$

$$y = R - \sqrt{R^2 - x^2}$$


Карактеристични геометријски елементи кружне кривине

- ✓ прелазне кривине

  проблем преласка са једне на другу коначну закривљеност (правац-круг, круг-правац, круг-круг)

  Проблеми и последице:

  - потреба тренутног остварења окрета управљача-сечење кривине

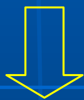
  - скоковита промена радијалног убрзања-физиолошки и психички ефекти, погрешне одлуке

  - прелом водећих линија пута-несигурност и неприлагођеност понашања

  истраживања облика прелазних кривина као посредника између правца и кружног лука и равноправног елемента трасирања (кубна парабола, ламниската, клотоида-усвојени елемент)

Контурни услови:

- промена полупречника прелазне кривине треба да буде постепена, линеарна промена закривљености
- кружни лук и прелазна кривина треба да имају заједничку тангенту у додирној тачки
- при константној брзини вожње брзина окретања предњих точкова треба да буде константна



до одређеног места пређени пут и извршено окретање предњих точкова од почетка прелазне кривине морају бити сразмерни протеклом времену

$L \cdot R = const.$

природна једначина клотоиде $L \cdot R = A^2$

A - параметар клотоиде [m]

$R \cdot L = A^2$

Y

X

$\frac{A}{2}\sqrt{\pi}$

$R = 0$
$L = \infty$

$A\sqrt{\pi/2}$

Rx

Lx

$\tau = 45°$

τx

y

x

45°

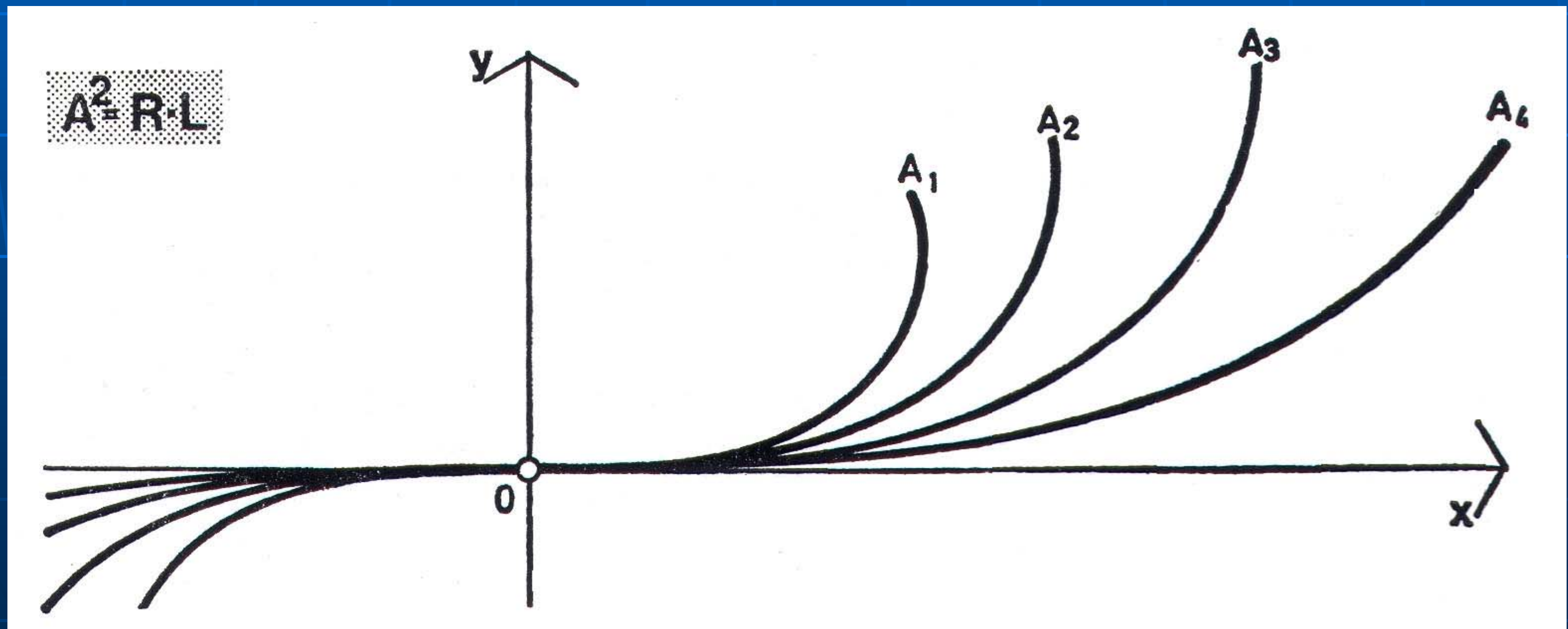
$$x = \int_0^L \cos \frac{L^2}{2A^2}\, dL$$

$$y = \int_0^L \sin \frac{L^2}{2A^2}\, dL$$

Математички облик клотоиде

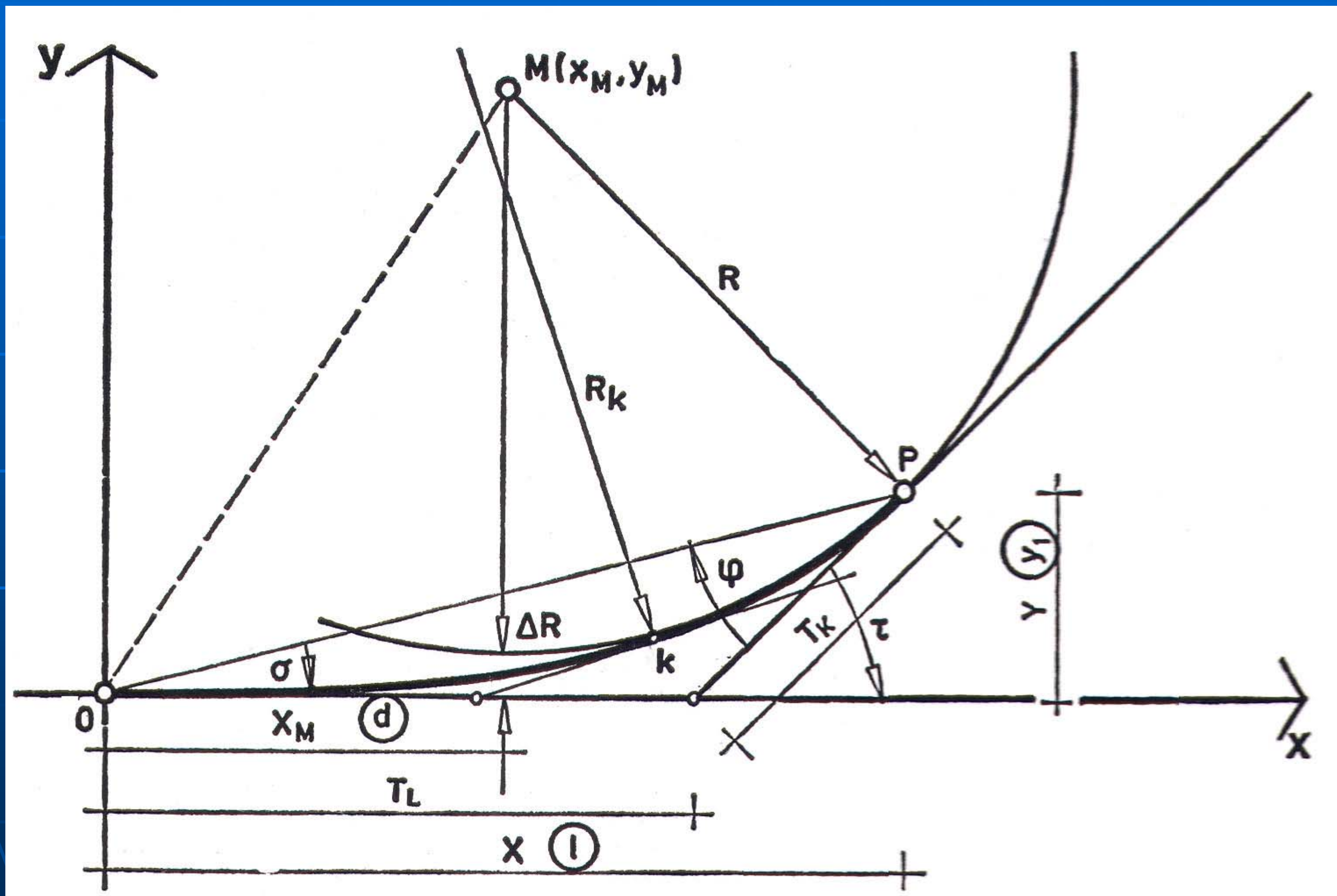
клотоида је најпростија крива после круга

клотоида	круг
$R \cdot L = const = A^2$	$R = const$
$\tau = L/2 \cdot R$	$\alpha = L/R$
фактор величине: параметар клотоиде A [m]	фактор величине: радијус круга R [m]

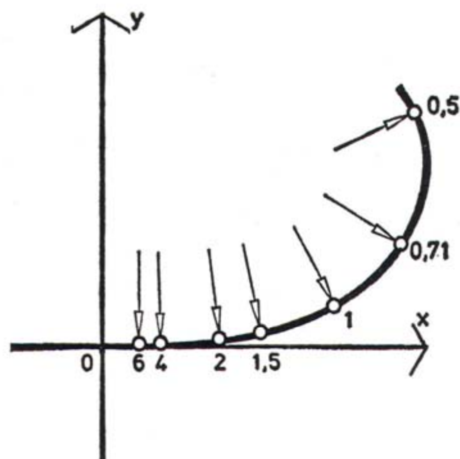


Сличност клотоида различитих параметара

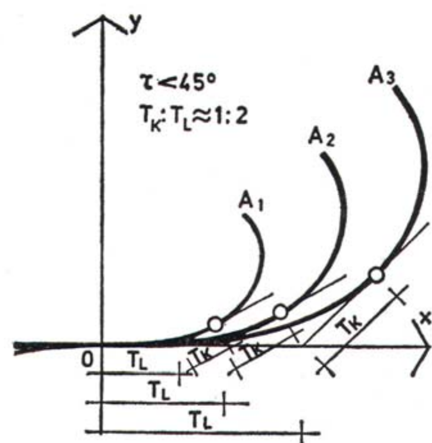
у пројектовању се користи само први део до max $\tau \leq 90°$ (лака конструкција за изабрано A и R)

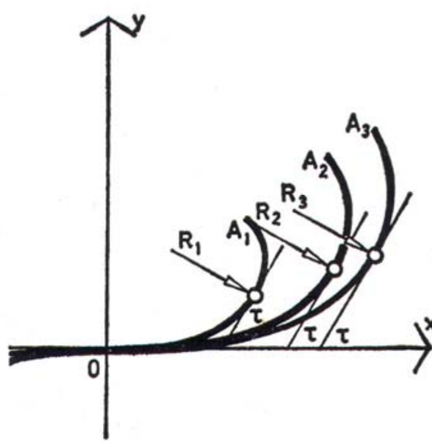


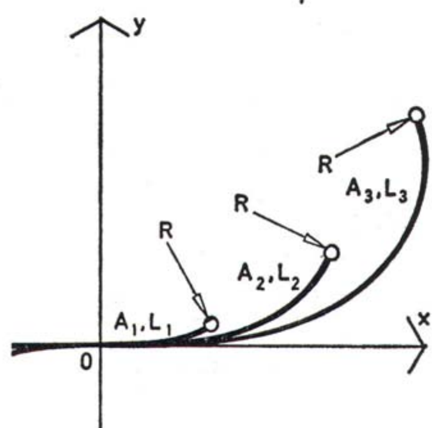
Карактеристични елементи за геометријску конструкцију клотоиде

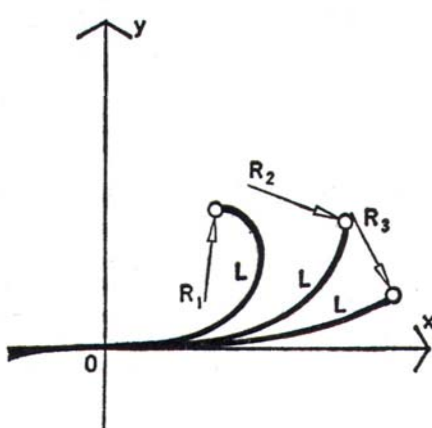


	τ	A	R	L
0,5	2	2R	$\frac{1}{2}$A	2A
0,71	1	$\sqrt{2}$R	$\frac{1}{\sqrt{2}}$A	$\sqrt{2}$A
1,0	$\frac{1}{2}$	R	A	A
1,5	$\frac{2}{9}$	$\frac{2}{3}$R	$\frac{3}{2}$A	$\frac{2}{3}$A
2,0	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{2}$R	2A	$\frac{1}{2}$A
4,0	$\frac{1}{32}$	$\frac{1}{4}$R	4A	$\frac{1}{4}$A
6,0	$\frac{1}{72}$	$\frac{1}{6}$R	6A	$\frac{1}{6}$A









Графичка илустрација особина клотоиде

Tg

γ

Tg

$\alpha = \gamma - 2\tau$

τ

τ

L_K

PL

KL

L

R

A

L

PK

A

KK

DIJAGRAM ZAKRIVLJENOSTI

R

A

1/R

A

R=∞

R=∞

$F = L/2R = \tau$

PK

PL

KL

KK

L

L_K

L

Геометријски елементи просте путне кривине

D

M_1

M_2

ε

τ_1

τ_2

KL_1

KK_1

O

N

PK_2

PL_2

R_1

R_2

A

PREKRETNA TANGENTA

za $R_1 = R_2 \Longrightarrow O = N$

DIJAGRAM ZAKRIVLJENOSTI

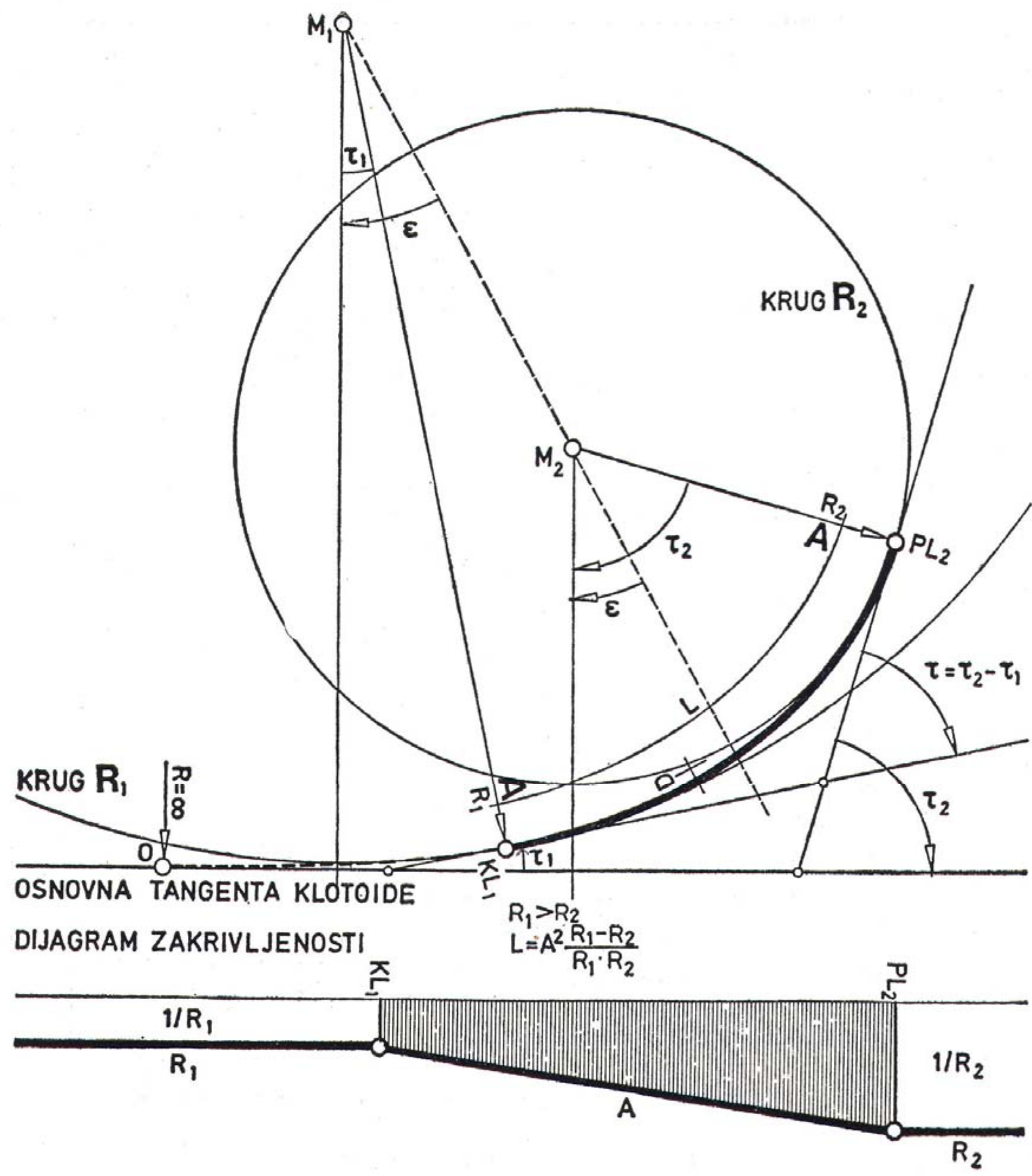
KK_1 KK_1 PK_2 PL_2

$1/R_1$ $1/R_2$

R_1 R_2

A

Геометријски елементи прекретне линије (S крива)



Геометријски елементи јајасте линије (О крива)

Нестандардни облици путних кривина решавани уз помоћ клотоиде

- темена клотоида-када су скретни углови мали, а радијус знатно већи од од минималног
- S крива са два параметра за велике прикључне радијусе
- двострука О крива-сложени облици (саобраћајни чворови)
- С крива-индиректне рампе денивелисаних раскрсница
- корпаста клотоида-промењљиви услови вожње, траке за успорење и убрзање

Избор параметра клотоиде:

- возно-динамички критеријум

удобност вожње са гледишта бочног удара
s_R=0,3 (неосетљиво) - 0,8 (подношљиво) m/s^3

$$\min A = 0{,}146 \cdot \sqrt{\frac{V^3}{f_R}} \quad [m]$$

- конструктивни критеријум

витоперење коловозне површине-промена попречном нагиба

максимални нагиб рампе витоперења 0,5 % (нормално), 1,0-1,2 % (денивелисане раскрснице или серпентинске окретнице)

$$\min A = \sqrt{\min R \cdot \frac{\Delta h}{\max i_r}} \quad [m]$$

релативно дуге прелазнице су потребне код витоперења око ивице коловоза и за велика надвишења (широк коловоз негативног попречног нагиба на почетку кривине), за све друге околности возно-динамички критеријум обезбеђује довољну дужину за промену закривљености и витоперење

- естетски критеријум

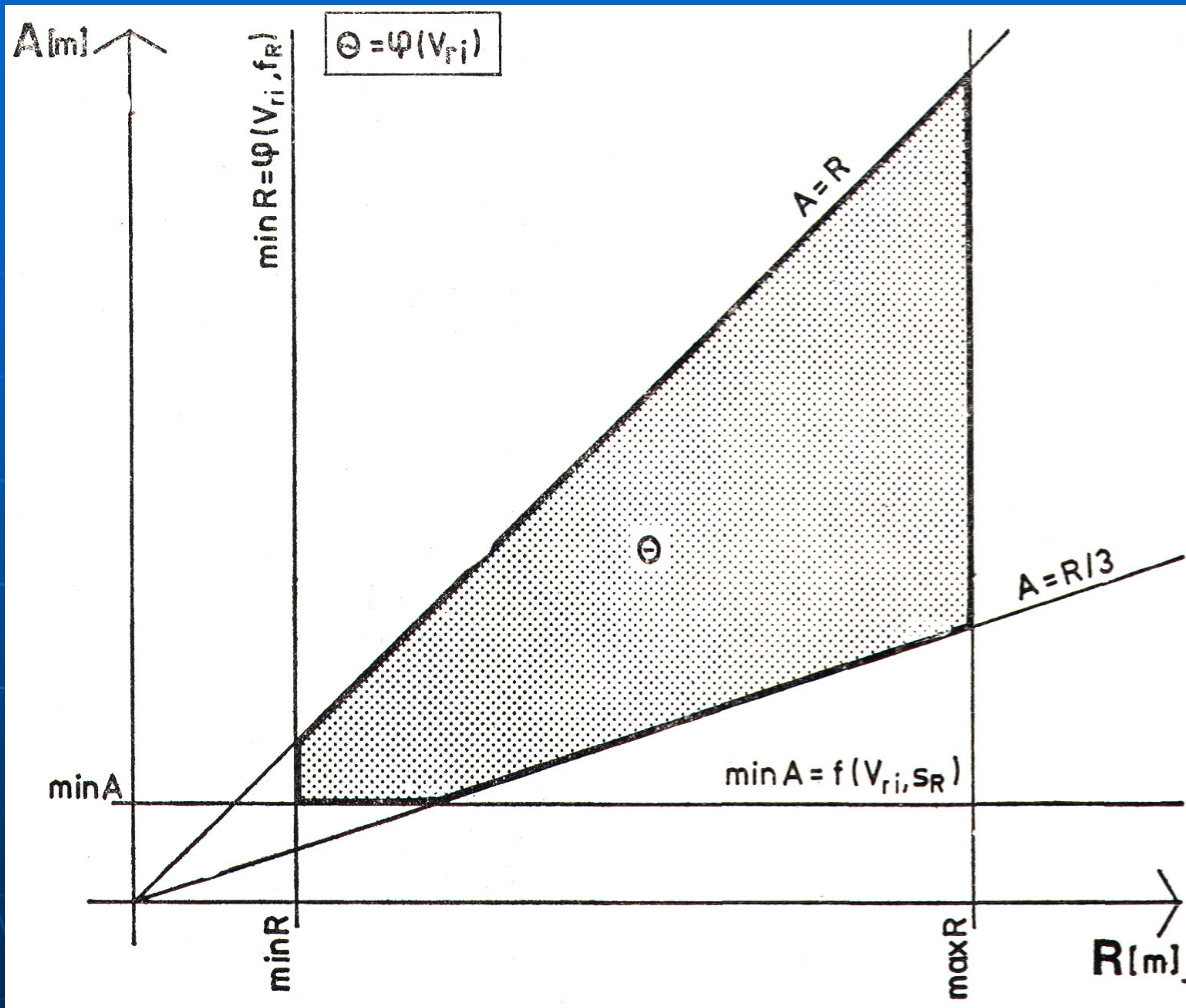
ублажавање утиска оштрине кривине, визуелно отварање кривине

$\min A = R/3$

ово првенствено вреди за кривине $R > \min R$

максимална величина параметра клотоиде се остварује за темену клотоиду, услов $\tau_1 + \tau_2 = \gamma$

ликовно оптимална дужина прелазнице за $L : L_k : L = 1:1:1$, односно $\tau : \alpha : \tau = 1:2:1$, оптимално $\tau = \gamma/4$

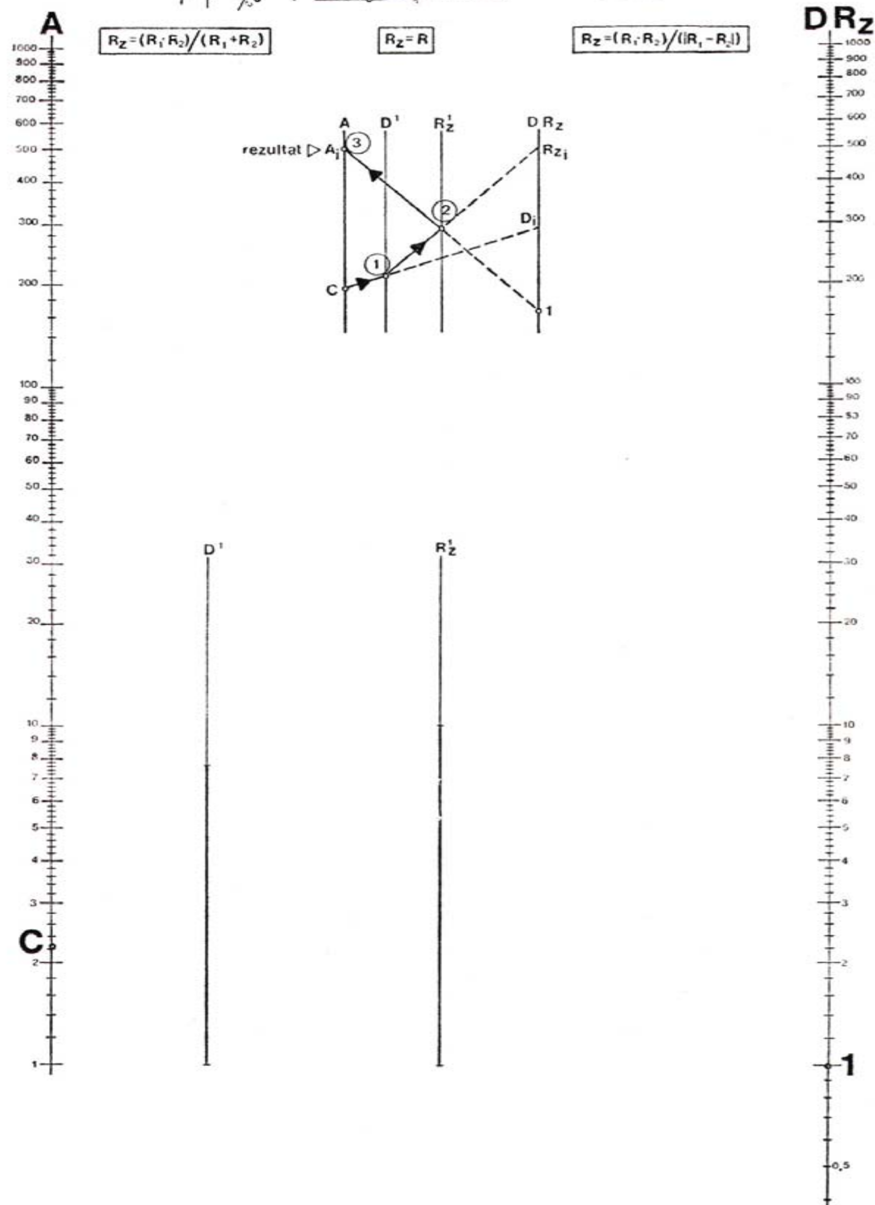


Поље избора параметра клотоиде

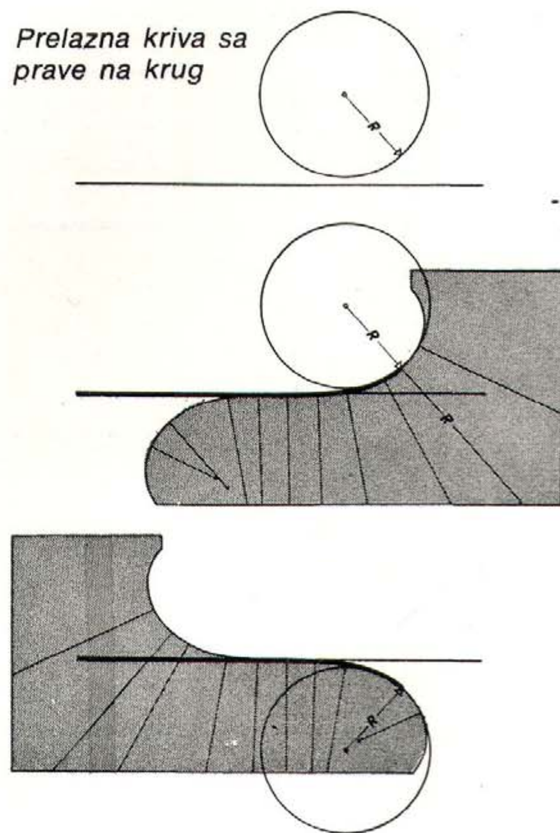
$A^2 = 90\,000$					$\frac{1}{A} = 0{,}003\,333\,333$				$A = 300$	
L	τ^g	τ^0	R	ΔR	X_M	X	Y	T_K	T_L	L
36,000	0,4584	0 24 45	2500	0,022	18,000	36,000	0,086	12,000	24,000	36,000
45,000	0,7162	0 38 41	2000	0,042	22,500	44,999	0,169	15,000	30,000	45,000
56,250	1,1191	1 00 26	1600	0,083	28,125	56,248	0,330	18,750	37,501	56,250
69,231	1,6951	1 31 32	1300	0,154	34,614	69,226	0,614	23,078	46,156	69,231
75,000	1,9894	1 47 26	1200	0,195	37,499	74,993	0,781	25,002	50,003	75,000
81,818	2,3676	2 07 51	1100	0,254	40,907	81,807	1,014	27,277	54,549	81,818
90,000	2,8648	2 34 42	1000	0,338	44,997	89,982	1,350	30,006	60,006	90,000
100,000	3,5368	3 10 59	900	0,463	49,995	99,969	1,851	33,343	66,677	100,000
112,500	4,4762	4 01 43	800	0,659	56,241	112,444	2,636	37,518	75,020	112,500
120,000	5,0930	4 35 01	750	0,800	59,987	119,923	3,199	40,025	80,027	120,000
128,571	5,8465	5 15 43	700	0,984	64,268	128,463	3,934	42,892	85,752	128,571
138,461	6,7806	6 06 09	650	1,228	69,204	138,305	4,912	46,204	92,362	138,461
150,000	7,9578	7 09 43	600	1,562	74,961	149,766	6,243	50,075	100,082	150,000
163,636	9,4704	8 31 24	550	2,027	81,758	163,275	8,101	54,661	109,218	163,636
180,000	11,4592	10 18 48	500	2,697	89,903	179,418	10,775	60,186	120,204	180,000
189,474	12,6971	11 25 39	475	3,145	94,611	188,721	12,561	63,398	126,580	189,474
200,000	14,1471	12 43 57	450	3,697	99,836	199,015	14,763	66,982	133,680	200,000
211,763	15,8604	14 16 28	425	4,387	105,664	210,454	17,508	71,008	141,638	211,765
225,000	17,9049	16 06 52	400	5,258	112,204	223,227	20,975	75,570	150,626	225,000
240,000	20,3718	18 20 05	375	6,377	119,591	237,554	25,413	80,789	160,867	240,000
257,143	23,3860	21 02 51	350	7,834	127,995	253,695	31,185	86,832	172,656	257,143
276,923	27,1223	24 24 36	325	9,768	137,628	271,939	38,819	93,934	186,402	276,923
300,000	31,8310	28 38 52	300	12,389	148,759	292,586	49,114	102,444	202,683	300,000
327,273	37,8815	34 05 36	275	16,025	161,724	315,873	63,290	112,909	222,371	327,273
360,000	45,8366	41 15 11	250	21,205	176,934	341,780	83,253	126,259	246,858	360,000
400,000	56,5884	50 55 46	225	28,807	194,847	369,530	111,995	144,255	278,610	400,000
450,000	71,6197	64 27 28	200	40,331	215,835	396,288	154,096	170,787	322,649	450,000
473,684	79,3570	71 25 17	190	46,563	225,091	405,189	176,028	185,705	346,023	473,684
500,000	88,4194	79 34 39	180	54,043	234,760	411,789	201,480	204,860	374,729	500,000
514,286	93,5442	84 11 23	175	58,334	239,708	413,808	215,618	216,731	391,868	514,286
529,412	99,1277	89 12 54	170	63,043	244,698	414,682	230,714	230,736	411,520	529,412

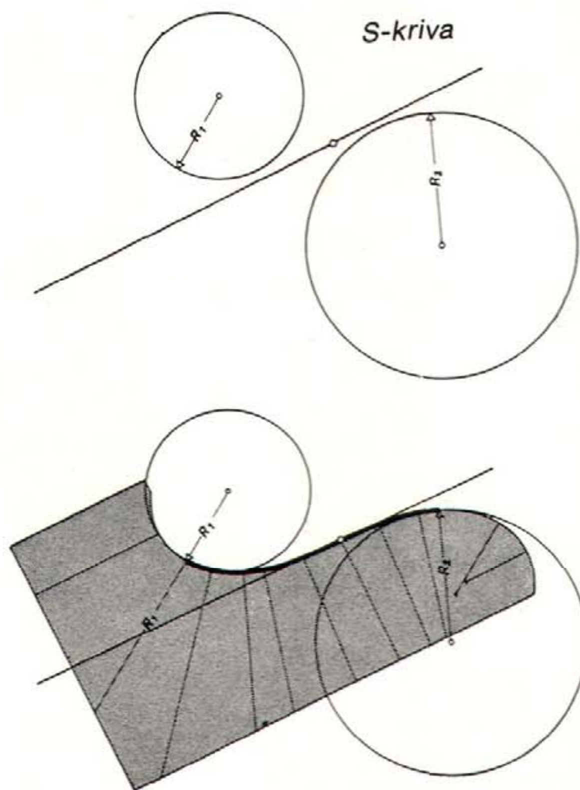
$$K = \frac{\rho^{cc}}{6A^2} = 1{,}178\,926$$

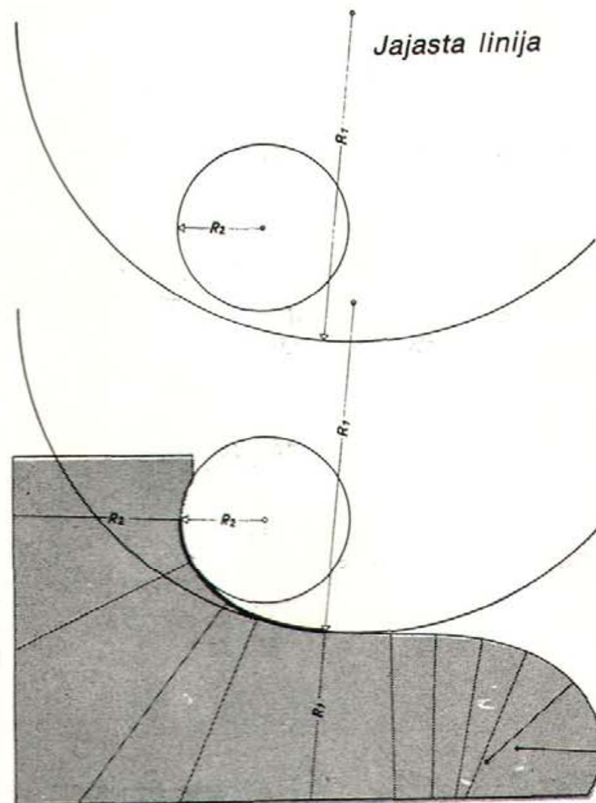
Таблица нормиране клотоиде



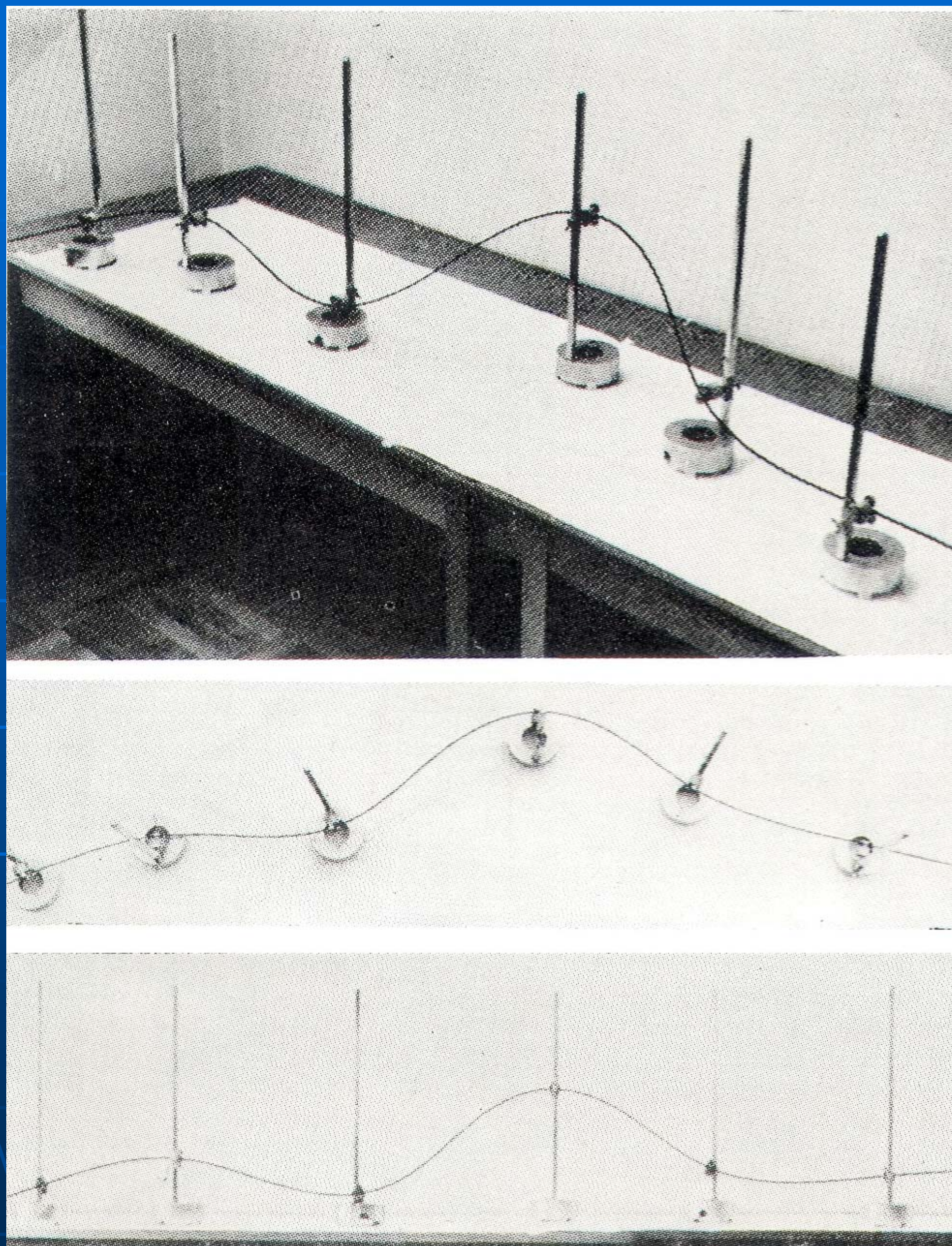
Номограм за избор параметара клотоиде







Примена клотоидних лењира



Примена савитљиве шипке (3 x 6 mm, са теговима и носачима)

- ✓ посебни облици путних кривина

проблем обликовања кривина за релативно мале брзине $V \leq 30$ km/h, али су захтеви за минималним коришћењем простора доминантни

раскрснице, окретнице, серпентине, приступи сервисним објектима и сл.

оштре кривине у оквиру задатих тангентних праваца великог скретног угла

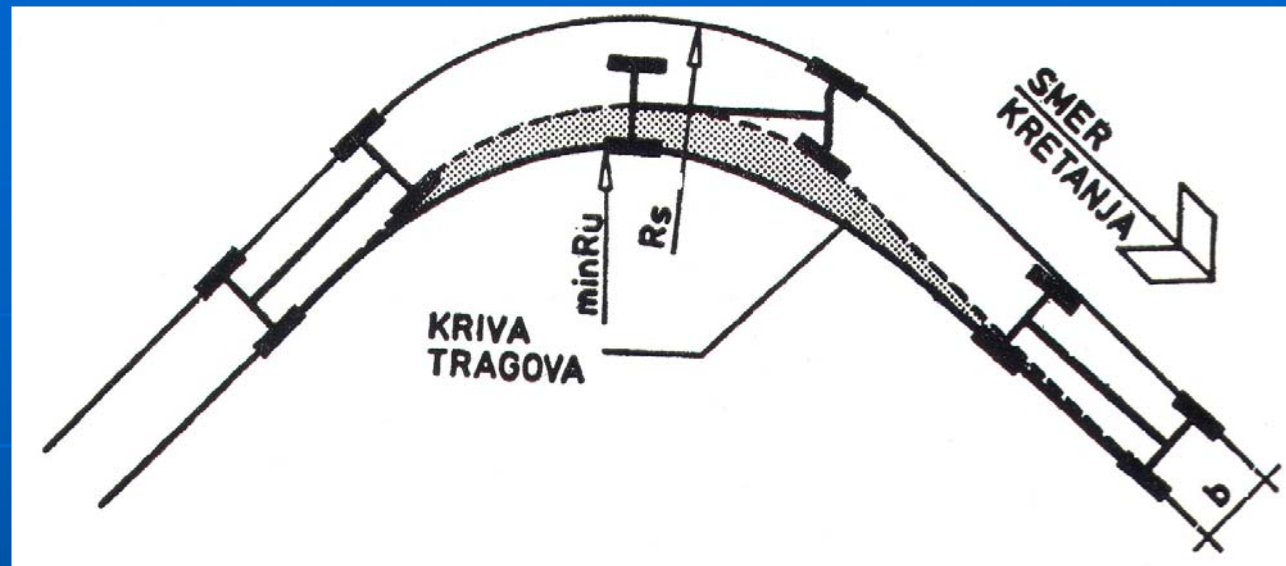
геометријски облик се комбинује према условима проходности возила

Крива трагова

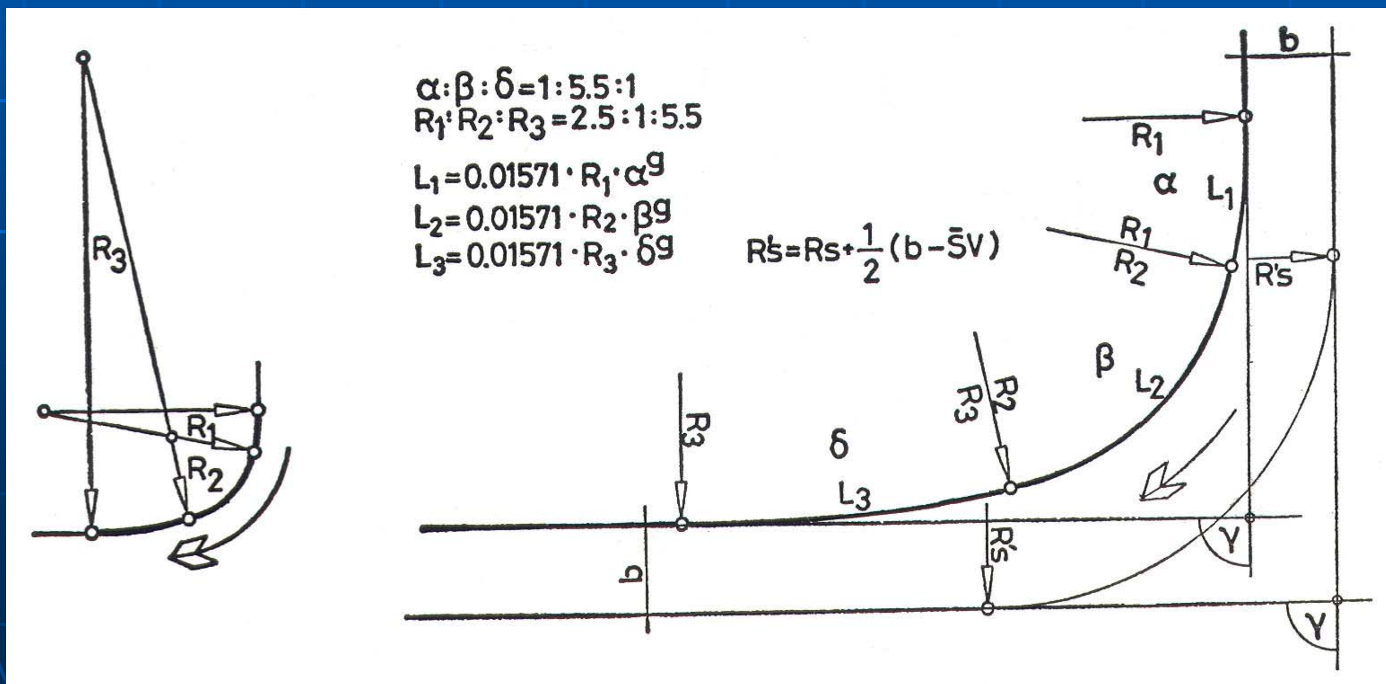
обвојница полигоналне путање коју описује задњи унутрашњи точак испитиваног возила (за било који облик путање коју описује предњи спољни точак)

апроксимација кружним кривинама-троцентрична крива

Путања моторног возила кроз кривину минималног радијуса

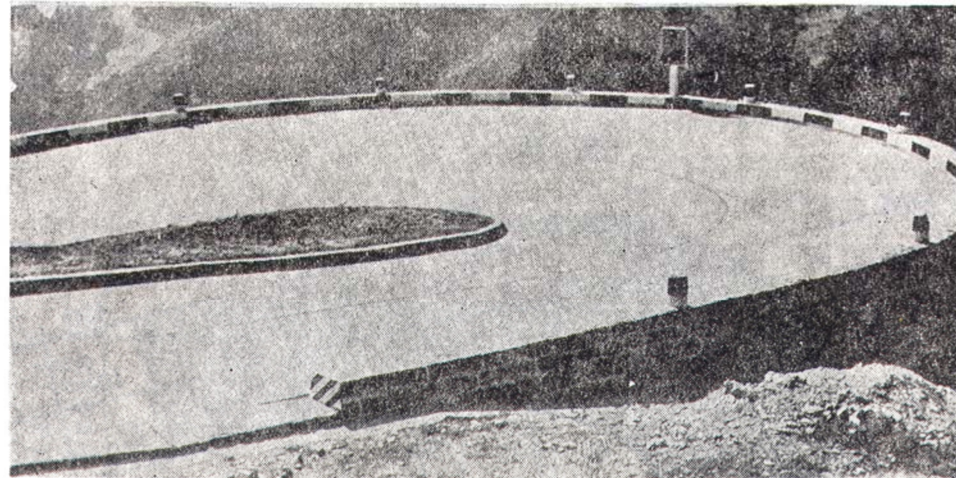


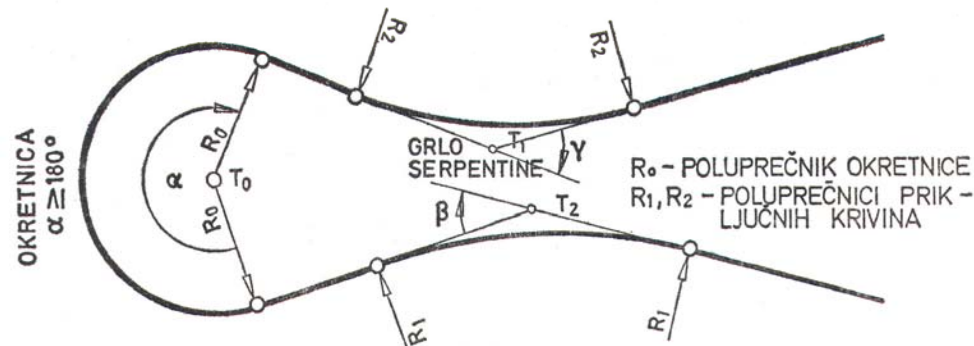
Сложена троцентрична крива



Серпентинске окретнице

окретница минималног проходног радијуса са централним углом $\alpha > 180°$ и две прикључне кривине исте или супротне закривљености (плански путеви)





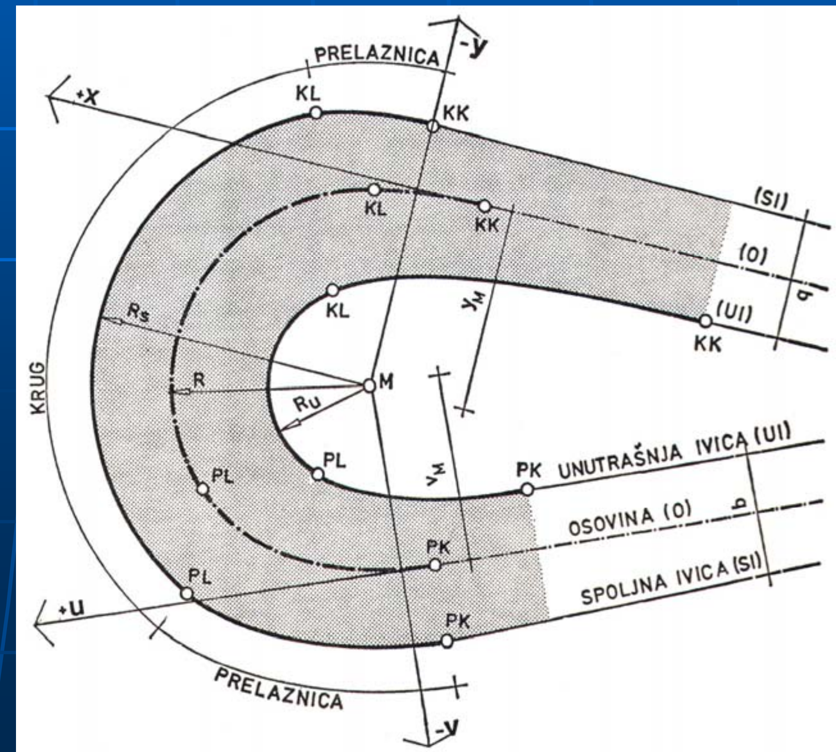
Главни елементи серпентине

проблем је обезбедити проходност без промене степена преноса и безбедност у мимоилажењу

окретнице нису симетричне у односу на правац бисектрисе

три карактеристичне линије (сложене криве којима се апроксимира крива трагова)

не постоји једноставна математичка веза, стандардни облици-таблице



Шематски план серпентинске окретнице

- ✓ проширење коловоза у кривини

точкови возила описују трагове различитог радијуса при кретању кроз кривину

разлика радијуса је већа од статичке ширине возила

значајно за кривине R<200 m

проширење у зависности од оштрине кривине и конструктивних димензија возила

за 25 < R < 200 m

$$\Delta p = \frac{a^2}{2 \cdot R_s} \quad [m]$$

R_s - најмањи полупречник круга окретања [m]

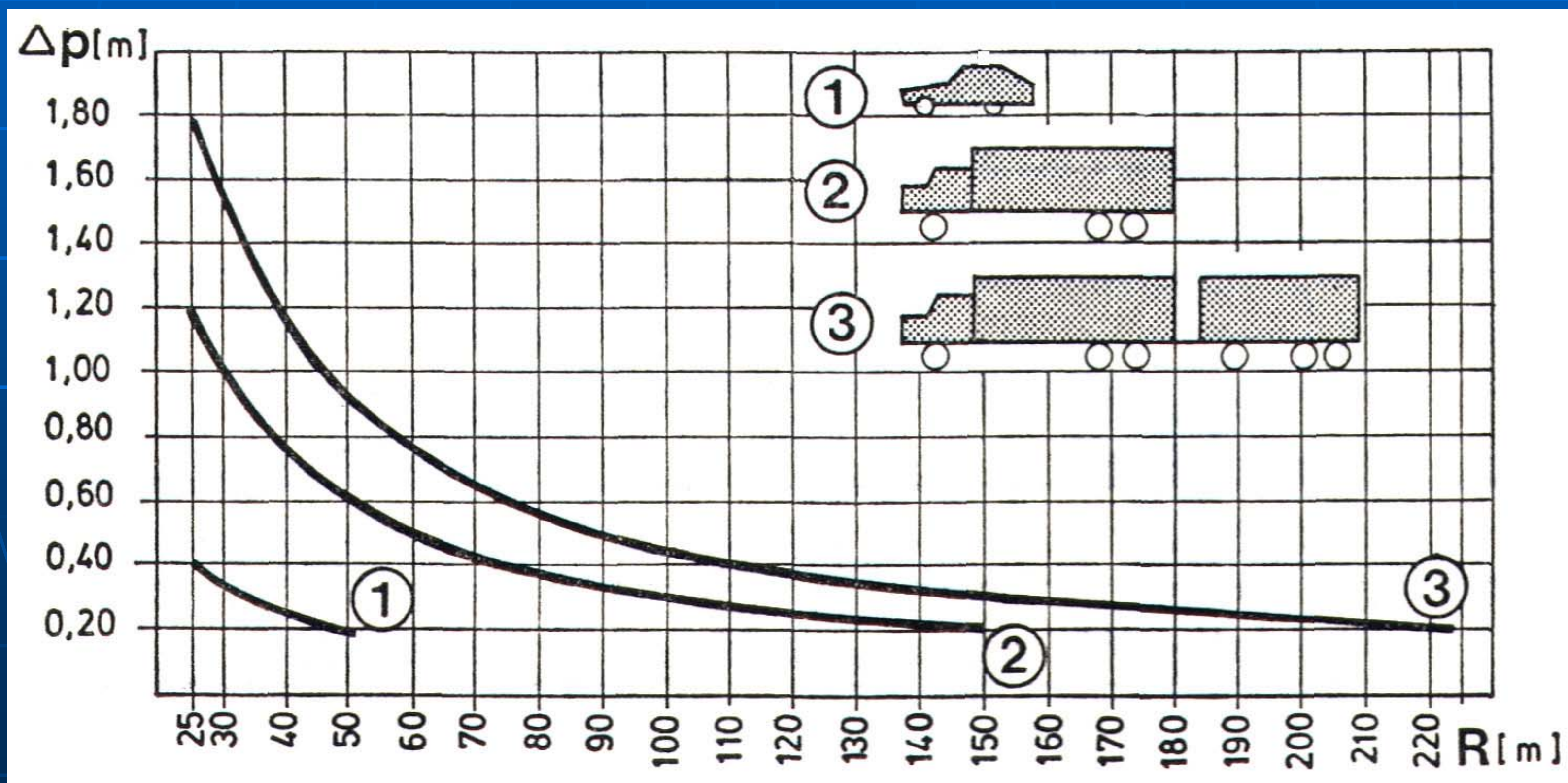
a - растојање од задње осовине до предњег најистуренијег дела возила [m]

за R>200 m проширење је веома мало, занемарује се

за R<25 m посебно обликовање по кривој трагова

за више саобраћајних трака

$$p = \sum_{1}^{n} \Delta p_i$$



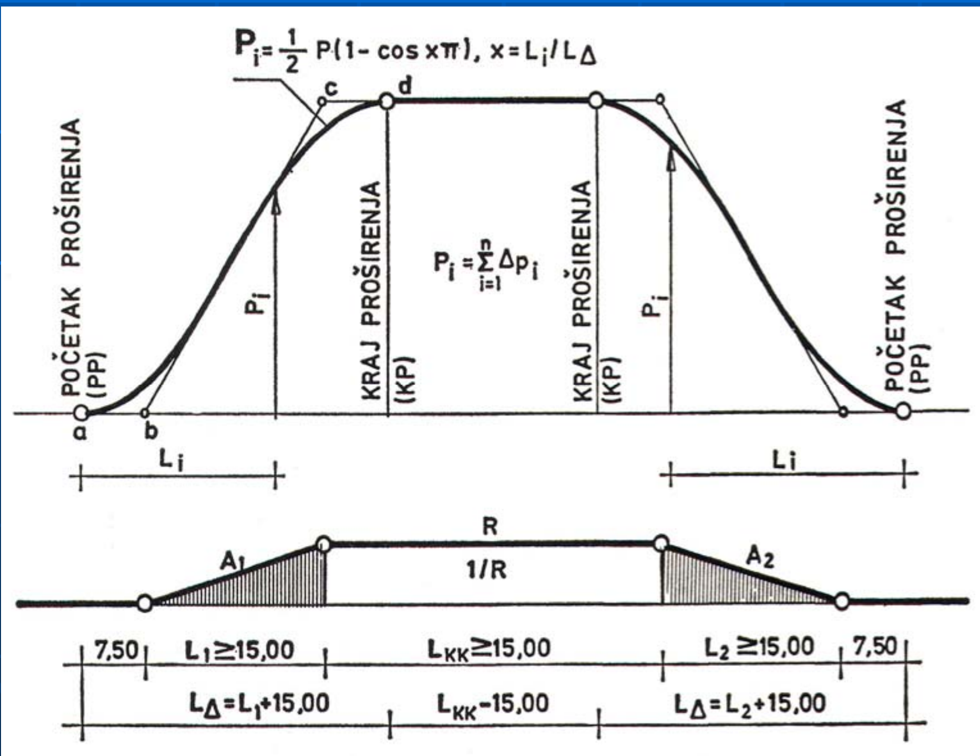
Потребно проширење возне траке у кривини

изводи се са унутрашње стране кривине

услови: $L_k \geq 15$ m, $L \geq 15$ m, иначе крива трагова

почетак проширења 7,5 m пре почетка прелазне кривине, константна вредност проширења у кружној кривини, крај проширења 7,5 m после краја прелазне кривине

крива расподеле проширења $p_i = \frac{p}{2} \cdot (1 - \cos x \cdot \pi),\ x = \frac{L_i}{L_\Delta}$



Расподела проширења за просту путну кривину

- ✓ прегледност пута

недовољна прегледност је узрок око 40 % саобраћајних удеса

пуна прегледност постоји само за правце у једноликој равни или у конкавним вертикалним кривинама

саобраћајно-психолошки и возно-динамички чинилац, мера степена остварења у трасирању и инжењерско-техничком обликовању пута

заутавна прегледност

потребна прегледност за безбедно заустављање возила испред непокретне сметње на коловозу

посебно битно за кривине R<1.000 m

визура прегледности

$P_z = L_{zf} + \Delta L$ [m]

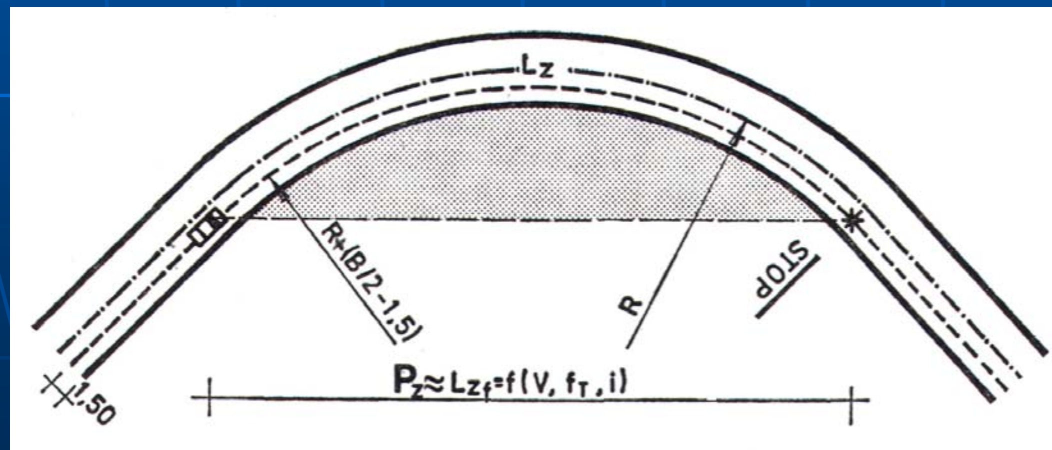
L_{zf} - зауставни пут при форсираном кочењу [m]

ΔL - сигурносни размак возила заустављеног испред сметње, 5-10 m

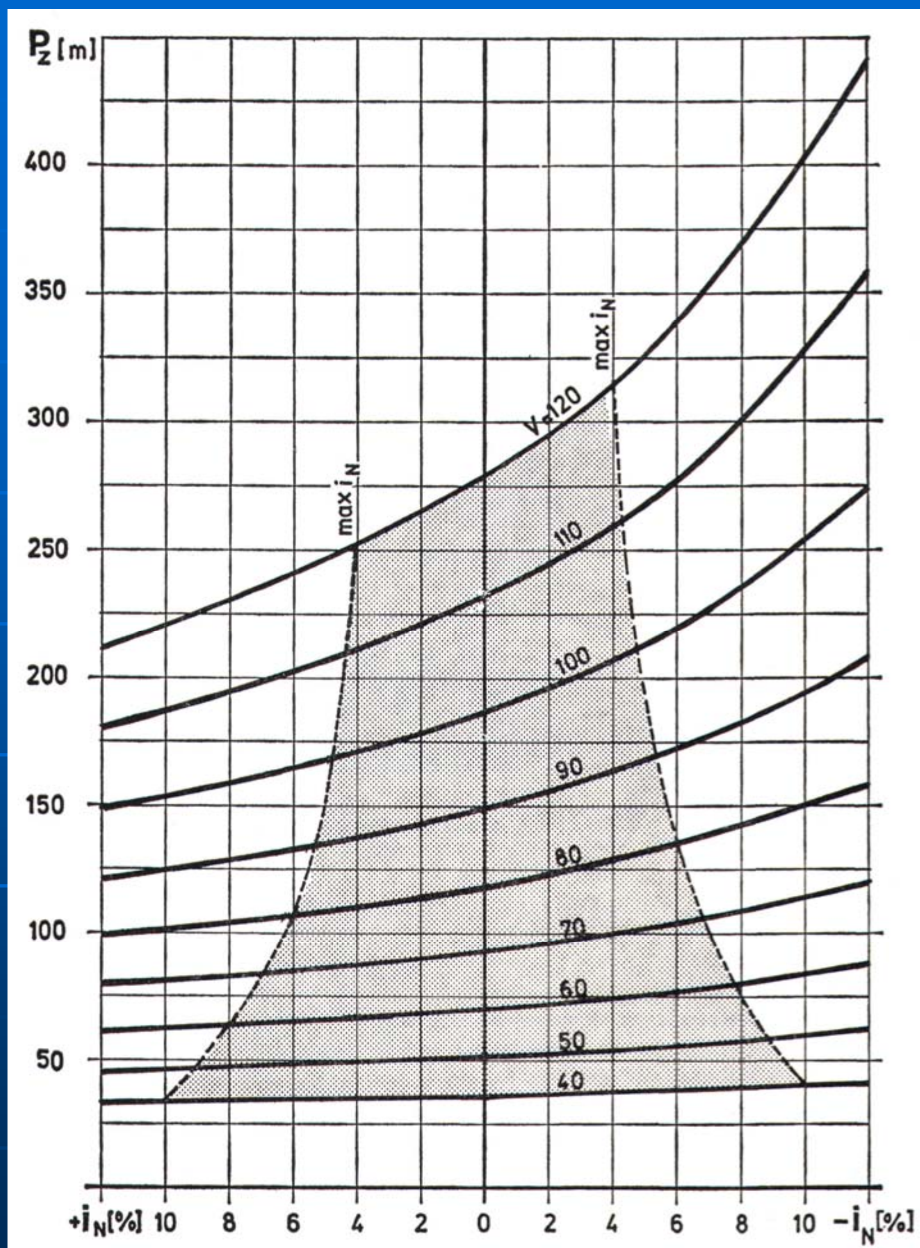
треба да буде остварена на сваком месту

гаранција безбедности вожње програмираном рачунском брзином

знатно мања од оријентационе визуре прегледности/изоштрене дубине видног поља, принудно скраћење видног поља



Геометријске претпоставке за одређивање зауставне визуре прегледности

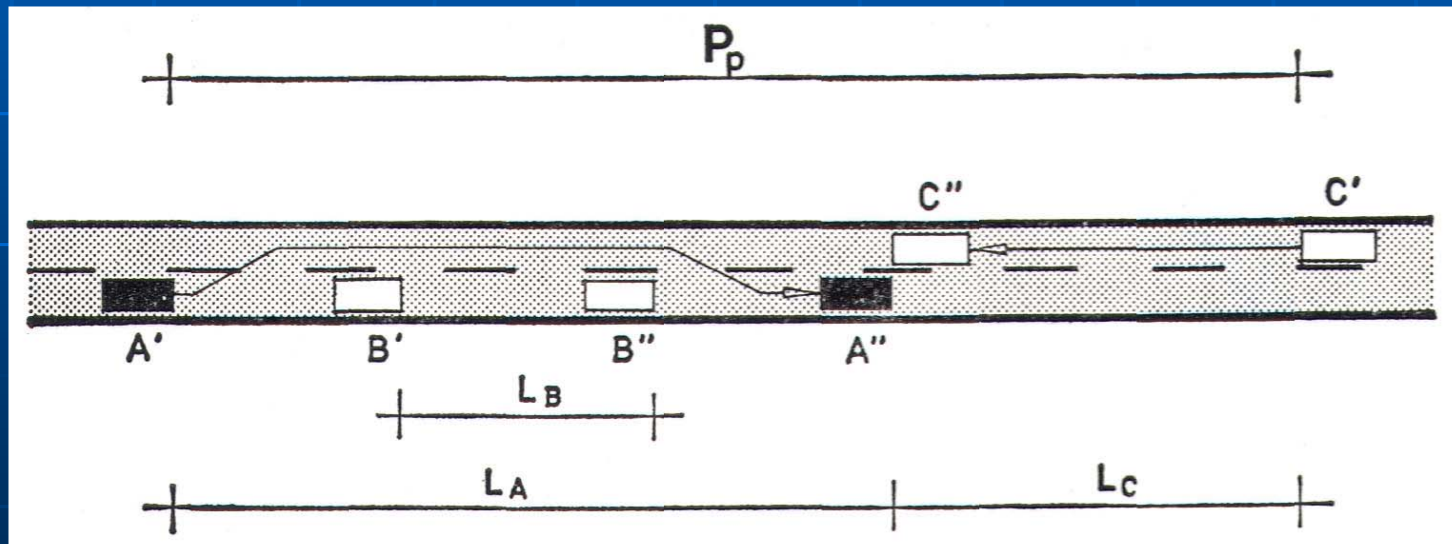


Минимална визура прегледности у функцији брзине вожње и услова пута

претицајна прегледност

могућност пута за безбедно извођење маневра претицања

возило које претиче мора да пређе дужи пут од претицаног возила (пут претицаног возила L_B, вишак пута претичућег возила L_A-L_B, сигурносно растојање L_C)



Шематски приказ претицања са компонентама визуре прегледности

визура прегледности

$$L_p = \frac{t}{3,6} \cdot (2 \cdot V_r + \Delta V) \quad [m]$$

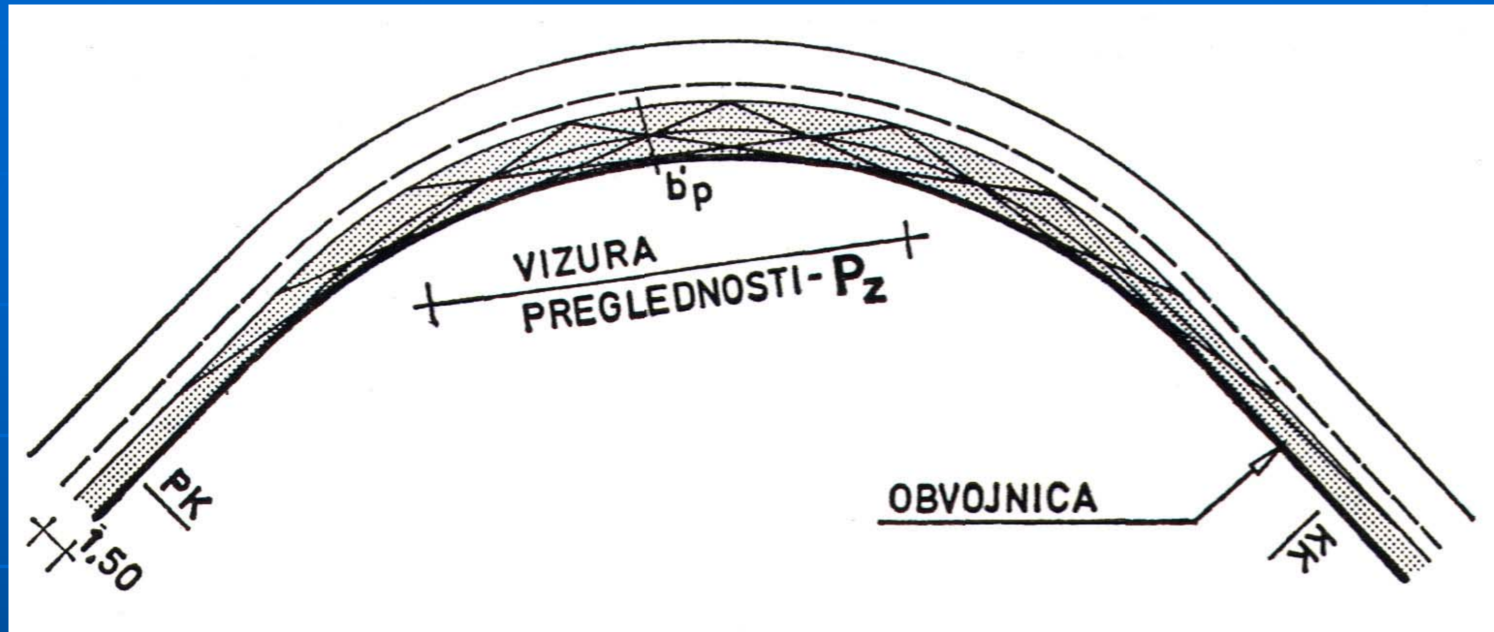
време t је непозната величина, истраживања за ΔV=15 km/h, t=10 s

редукована дужина претицања (возило А изравнато са возилом В), само за изузетно тешке теренске услове

за аутопутеве и путеве са раздвојеним коловозима-скрећена визура прегледности пошто нема возила С

прегледност се проверава за све кривине код којих уз унутрашњу ивицу коловоза постоје визуелне препреке

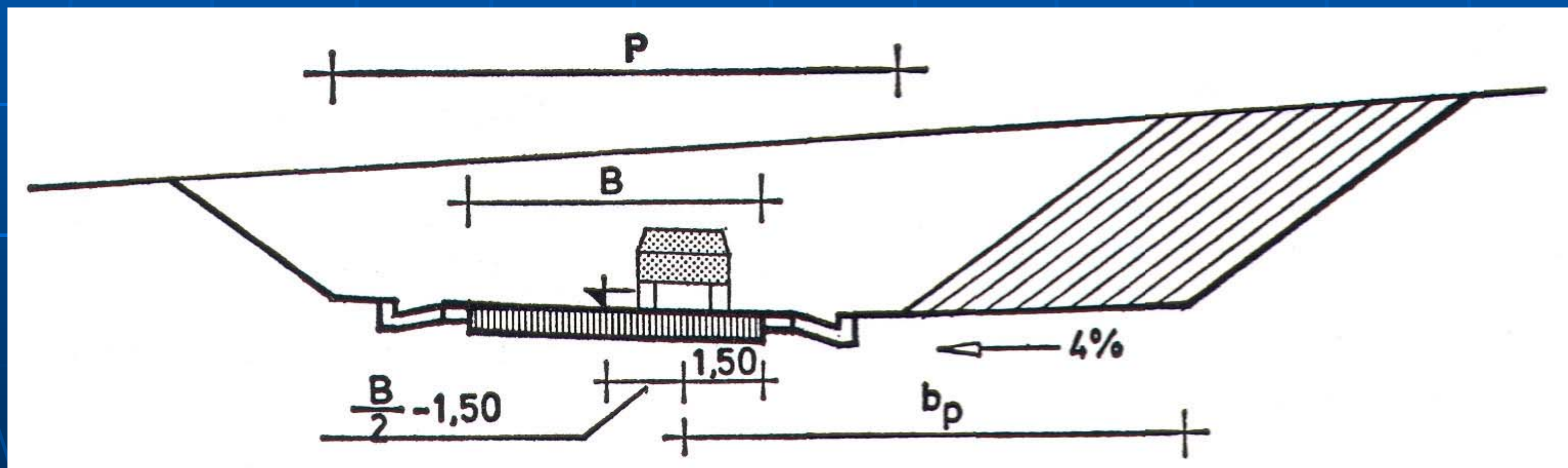
графичка провера



Графичка конструкција зоне прегледности за непокретну сметњу

- максимална ширина зоне прегледности се остварује на делу кружног лука
- упоређење са расположивом ширином из нормалног попречног профила
- грађевинске и регулативне мере

- за све путеве I, II и III разреда треба остварити зауставну прегледност (уклањају се сви природни и/или вештачки објекти у зони прегледности)
- за двотрачне путеве треба остварити и претицајну прегледност (уклањају се привремени објекти и растиње у зони прегледности)



Отварање усека ради постизања прегледности

Нивелациони план

- ✓ висински положај карактеристичних тачака попречног профила
- ✓ нагиби нивелете, вертикалне кривине, попречни нагиби коловоза
- ✓ подужни нагиб пута или нагиб нивелете се усваја на основу реалне процене објективних услова

минимални нагиб нивелете се одређује из услова одводњавања

хоризонтална нивелета захтева постојање попречног нагиба, и то само у правцу и насипу без спреченог бочног отицања воде

- за усеке мора постојати нагиб нивелете (0,3 % за бетонске елементе за одводњавање, 0,5 % за затрављене сегментне канале)
- мора се посматрати резултујући подужни нагиб (нивелета + рампа витоперења)
- минимални подужни нагиб у трасирању 0,8 %
- максимални подужни нагиб је горња граница на коју утичу услови вуче, трошкови грађења и низ екплоатационих фактора

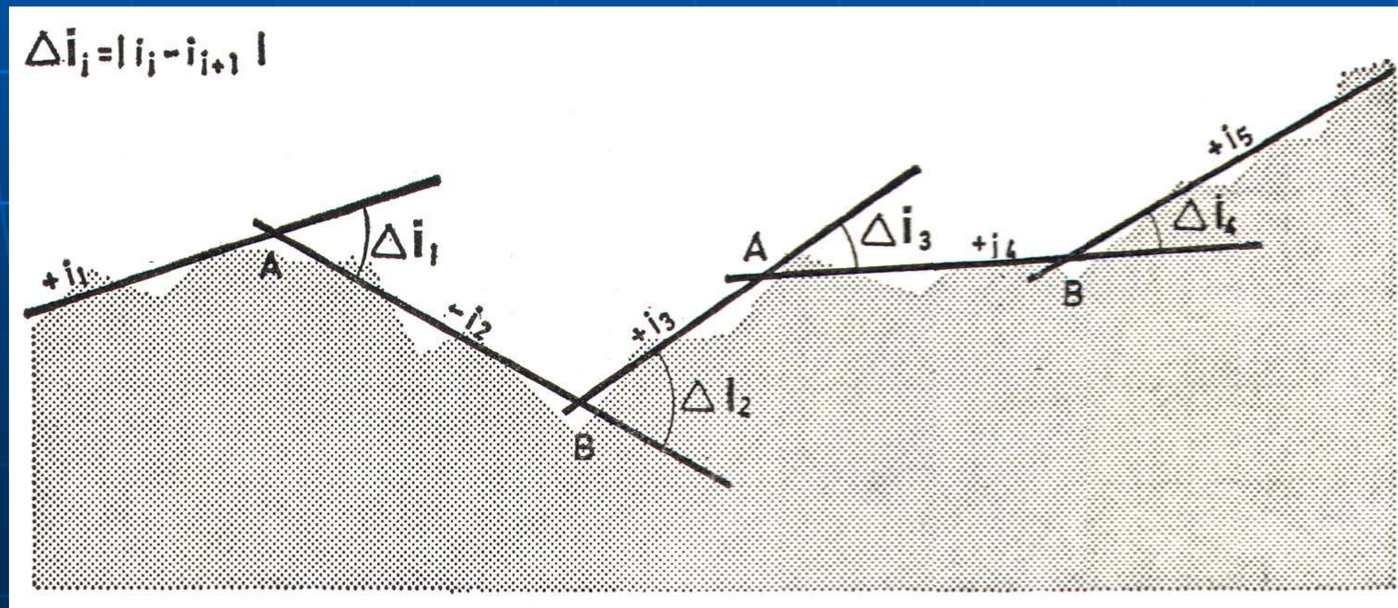
ранг пута	max i_N за услове терена [%]			
	равничарски	брежуљкаст	брдовит	планински
аутопут	-	4	5	7
I	-	5	6	7
II	-	6	7	8
III	-	7	8	10
IV	-	8	10	11
V	-	10	11	12

битан фактор је дужина пута на којој влада максималан нагиб (може се толерисати само на кратким деоницама пута)

сваки нагиб већи од 2,5 (3) % знатно утиче на пад брзине теретних возила

✓ вертикалне кривине

промена нагиба нивелете изазива прелом (конвексан или конкаван)

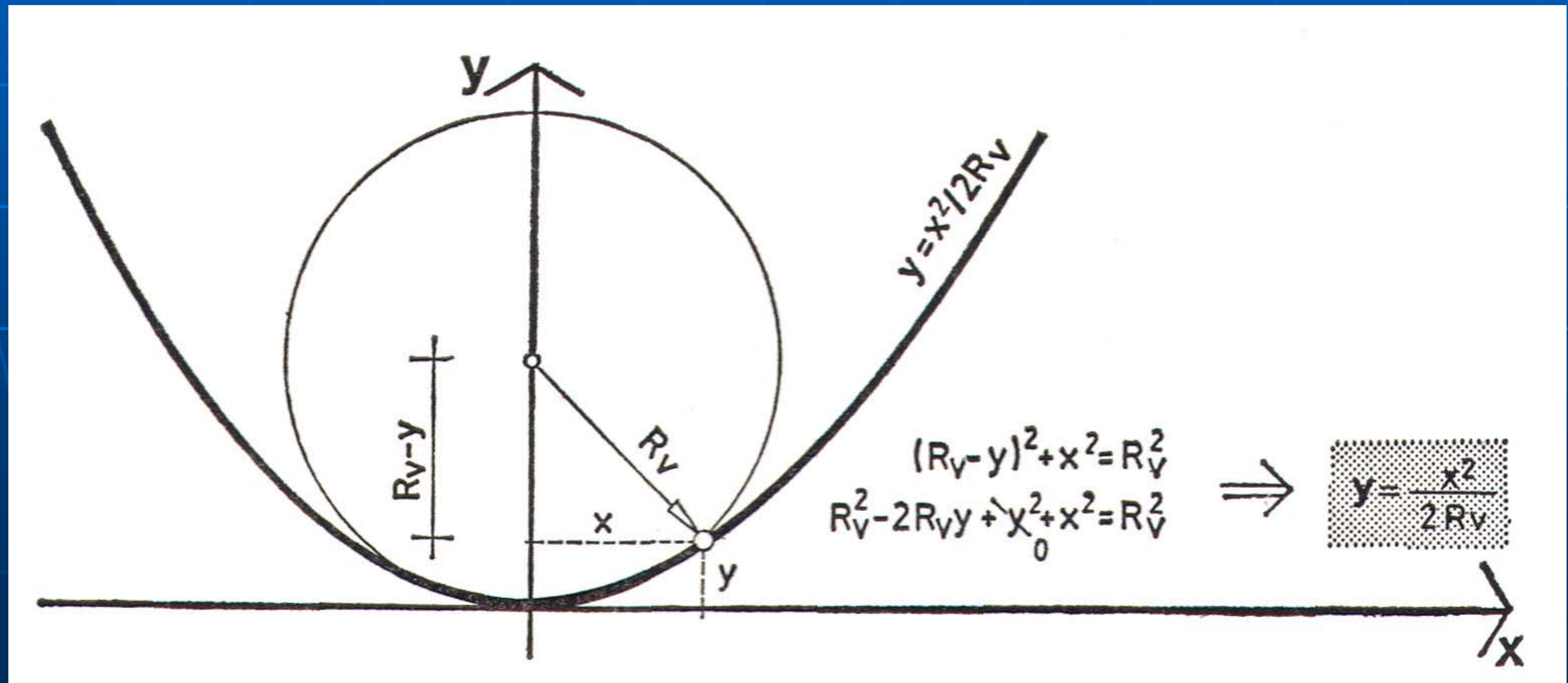


Карактеристични типови прелома нивелете

свaки прелом се заобљава кружним луком R_v

омогућава се безбедно кретање возила и скоковита промена отпора од нагиба

математички облик заобљења је квадратна парабола која са довољно тачности апроксимира круг (велики радијуси, а подручје заобљења веома мало)



Математички облик функције заобљења

Избор радијуса вертикалне кривине:

- возно-динамички критеријум

утицај центрифугалне силе у смеру управном на коловозну раван

радијално убрзање мора бити мање од 0,5 m/s^2

$$\min R_v = 0{,}154 \cdot V_r^2 \quad [m]$$

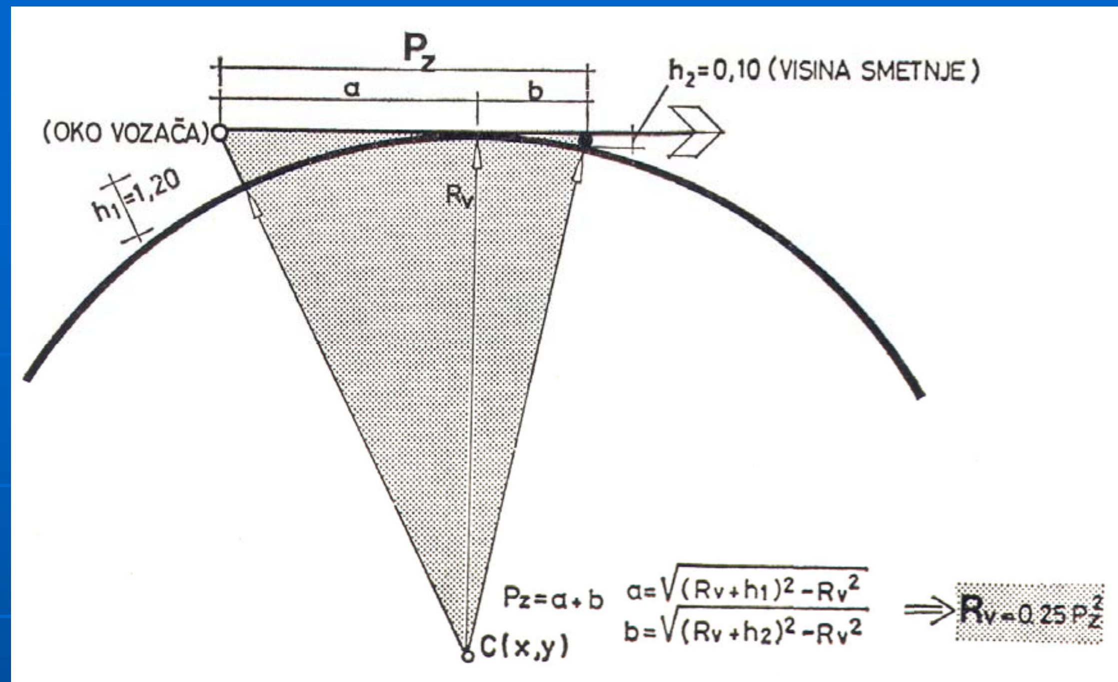
- критеријум прегледности

заобљење мора бити обављено радијусом који омогућава возачу да на дужини зауставног пута сагледа препреку на коловозу

за конвексне кривине радијус мора да омогући нормално распростирање визуре зауставне прегледености

$$\min R_v = 0{,}25 \cdot P_z^2 \quad [m]$$

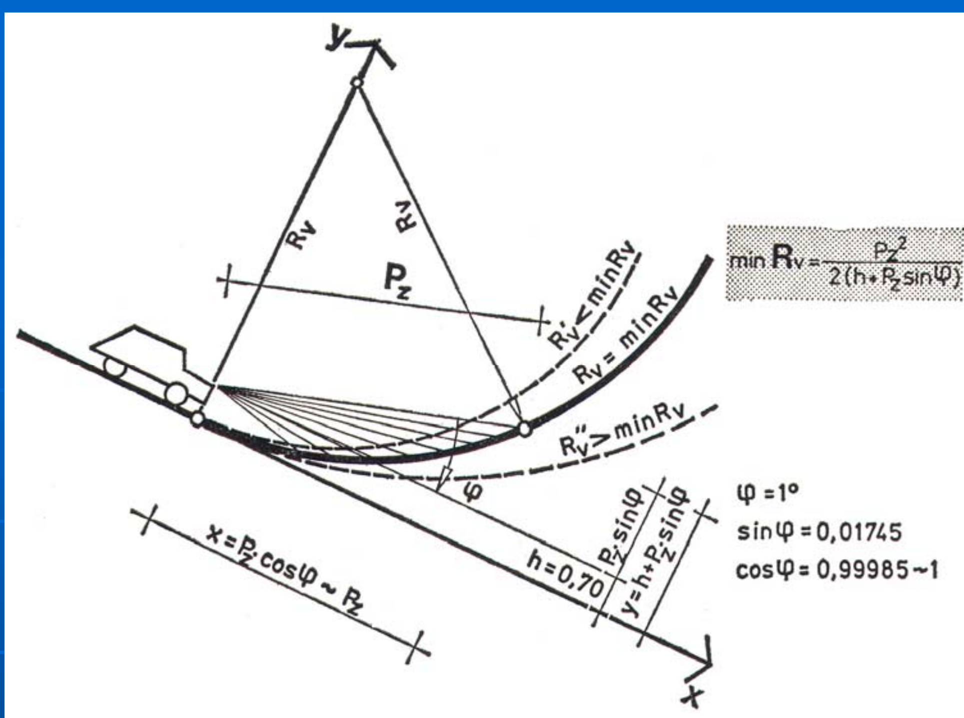
Услов за одређивање min R_v за конвексан прелом нивелете



за конкавне кривине меродавна је прегледност у ноћној вожњи

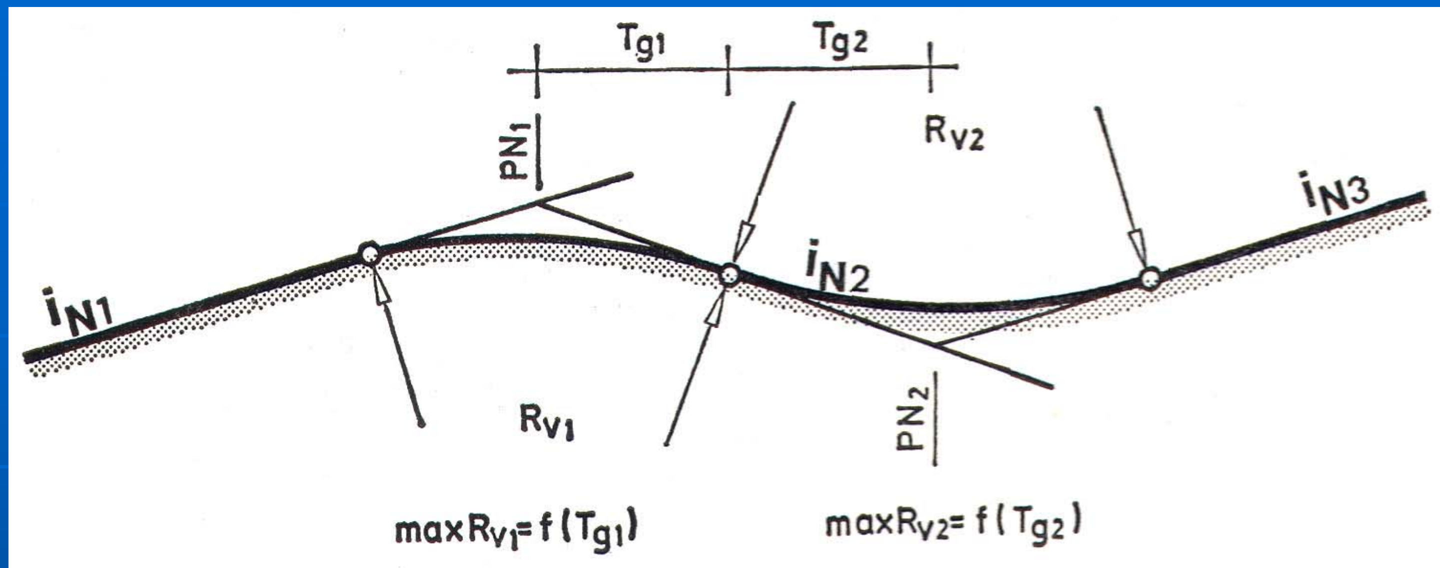
фарови возила, при нормалном углу расипања светлости, морају да осветле деоницу пута најмање једнаку визури зауставне прегледности

$$\min R_v = \frac{P_z^2}{2 \cdot (h + P_z \cdot \sin\varphi)} \quad [m]$$

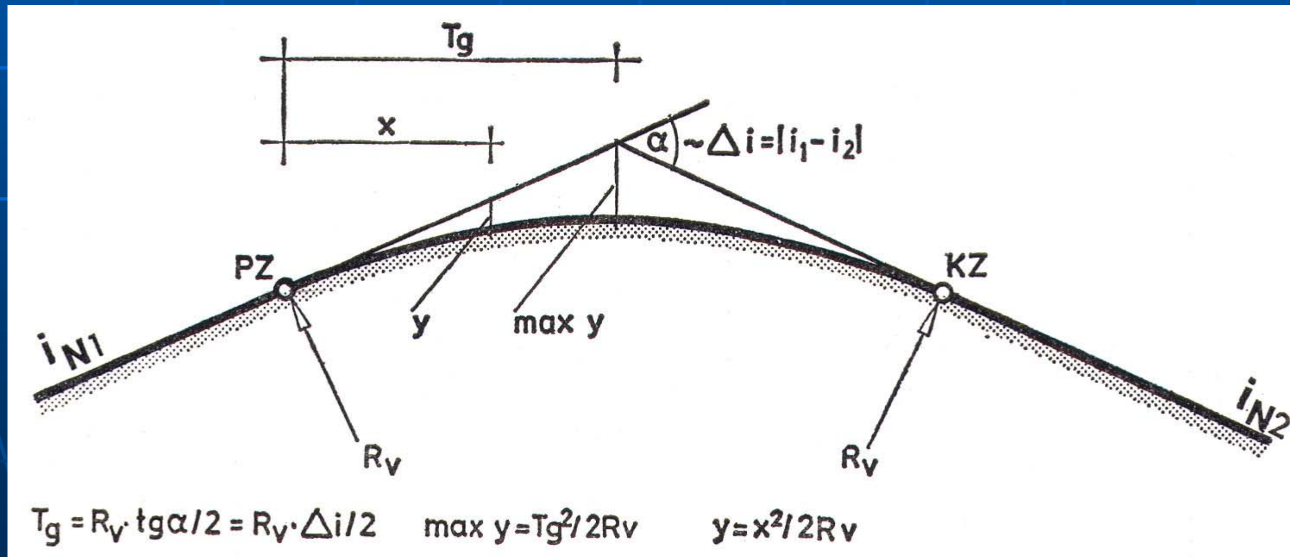


Услов за одређивање min R_v за конкаван прелом нивелете

- највећи радијус заобљења је потребан за конвексан прелом нивелете
- за мање оштре преломе нивелете ($\Delta i \leq 2$ %) дозвољавају се и мањи радијуси конвексног заобљења
- ликовно се препоручује за суседне радијусе $R_v^{konk} \geq \frac{2}{3} \cdot R_v^{konv}$
- максимални радијуси проистичу из геометријских услова нивелете



Геометријски услов за одређивање max R_v



Карактеристични елементи за конструкцију и
прорачун вертикалне кривине

Витоперење коловоза

- у хоризонталним кривинама коловоз се ради са увећаним попречним нагибом ради ефикаснијег савлађивања центрифугалне силе
- величина и смер нагиба зависе од степена закривљености и оријентације кривине
- промена попречног нагиба се обавља витоперењем коловозне површине и то кроз прелазну кривину под условом да се на почетку кружне кривине оствари захтевани попречни нагиб i_{pk}
- поступак: утврдити попречни нагиб у кривини, усвојити систем витоперења, дефинисати граничне вредности секундарних подужних нагиба, геометријско решење

- попречни нагиб коловоза је, по правилу, оријентисан ка средишту кривине и увећан сразмерно закривљености
- максималан попречни нагиб 7 % (саобраћајно-технички разлози-позитивно деловање у савлађивању центрифугалне силе при великим брзинама, при малим брзинама већи нагиби могу деловати негативно)
- серпентинске окретнице 9 %
- максимална вредност се примењује само ако је резултујући нагиб коловоза мањи од 10 % за путеве I, II и III разреда и од 12 % за путеве IV и V разреда
- минималан попречни нагиб 2,5 %, колико је нормално и на правцу (услови одводњавања), одговара свим кривинама чији је радијус већи или једнак од граничног (R_g=5·min R)

идеалан попречни нагиб, за одређену пројектну брзину и радијус кружне кривине, претпоставља да је резултанта свих сила које делују на возило управна на коловозну површину

нема радијалног убрзања

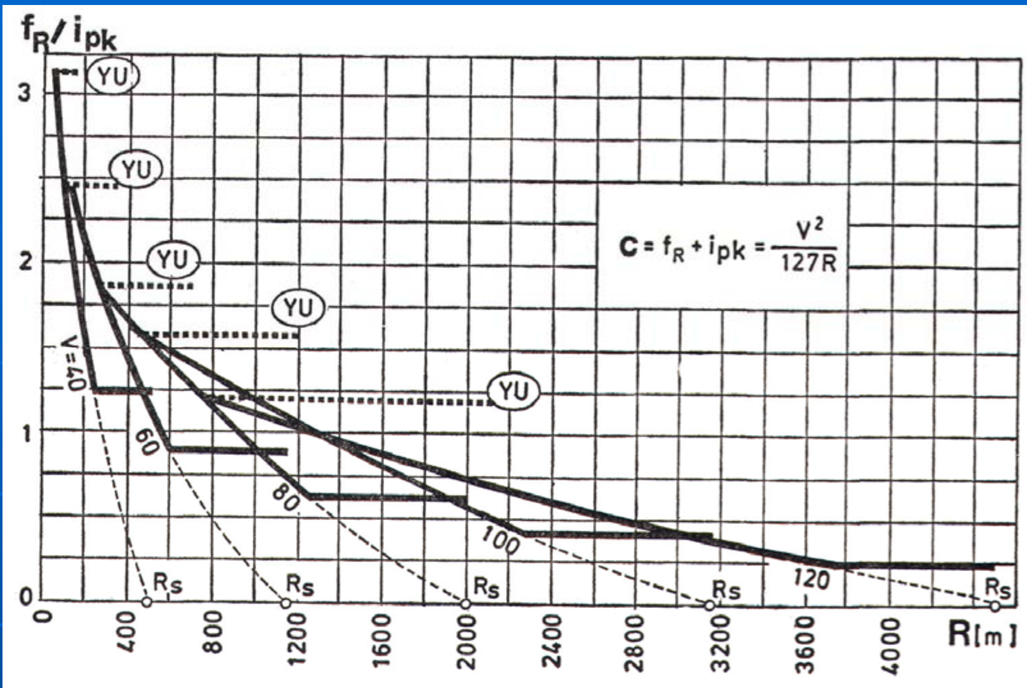
најповољнији случај, управљање возилом без додиривања волана

брзина слободног волана/оптимална брзина кривине

$$V_s = \sqrt{127 \cdot i_{pk} \cdot R} \quad [km/h]$$

реални услови-примена радијуса знатно мањих од максималних, у пријему радијалне силе учествују и попречни нагиб и расположиво радијално трење

попречни нагиб у кривинама за радијусе у распону R - R_g се одређује из услова расподеле јединичне центрифугалне силе на попречни нагиб и радијално трење



Дијаграм расподеле јединичне центрифугалне силе

- за минималне радијусе ангажује се радијално трење до граничних вредности за удобну вожњу
- за радијусе блиске граничном возило се креће брзином блиској оптималној, центрифугална сила се углавном савлађује попречним нагибом
- са већим распоном R - R_g се утиче на отицање воде, удобност и сигурност вожње, оптичко вођење трасе

попречни нагиб у кривини (практичне анализе-упрошћен образац)

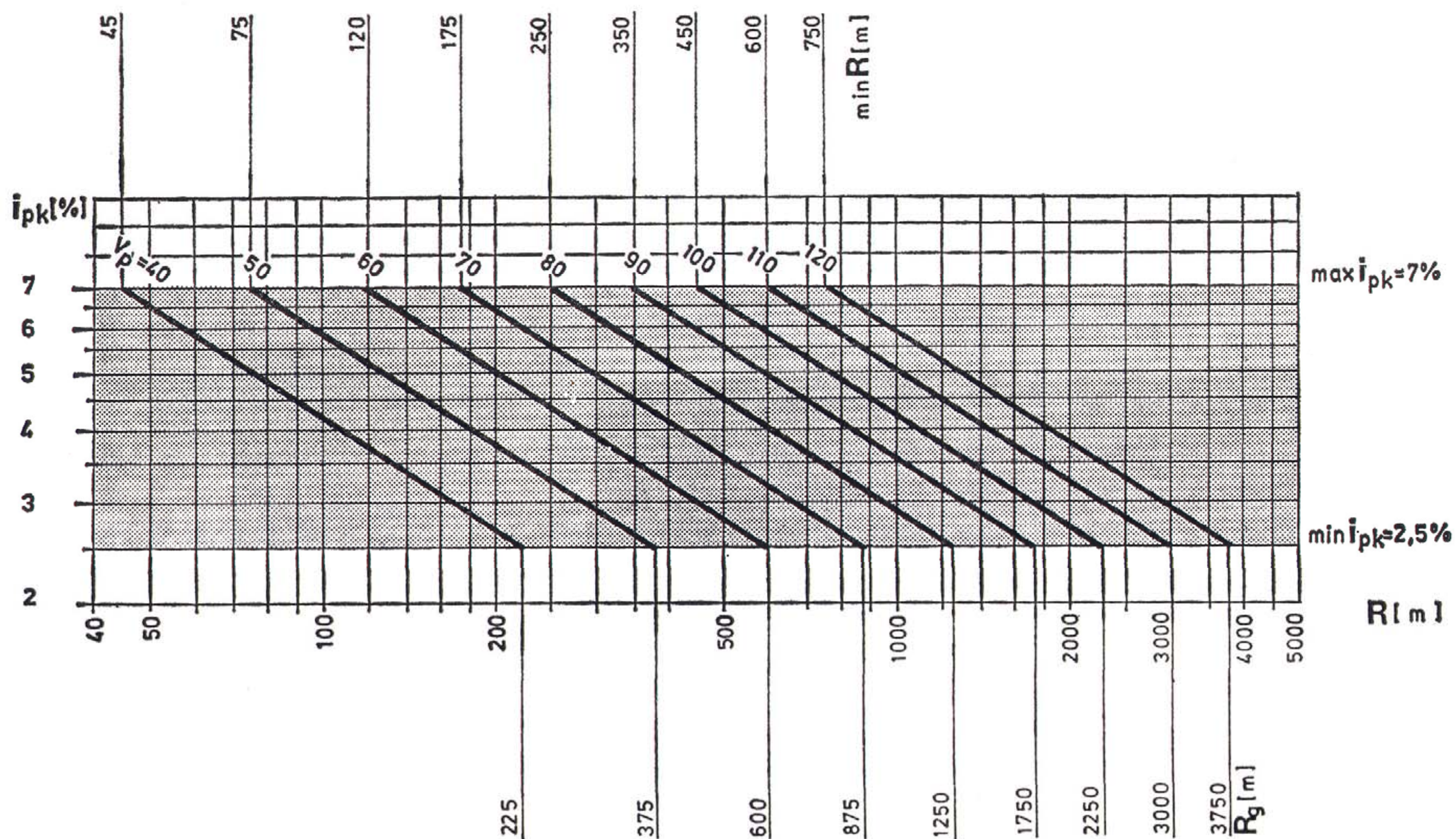
$$i_{pki} = 7 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{\min R}{R_i}\right)^2} \qquad [\%]$$

срачуната величина се заокружује на горњих 0,5 %

попречни нагиб треба да буде позитивног смера, у принципу (чак и када је $c<i_p$)

могуће грађевинске тешкоће код стриктног придржавања правила

оправдани разлози могу дозволити и контра нагиб, ако је радијално убрзање мање од 0,5 m/s^2



Промена попречног нагиба у интервалу R-Rg за разне нивое пројектне брзине

- ✓ системи витоперења

окретање коловозне површине се може вршити око било које унапред одређене осовине

технички исправно ако се обавља око једне геометријски познате пројектне линије

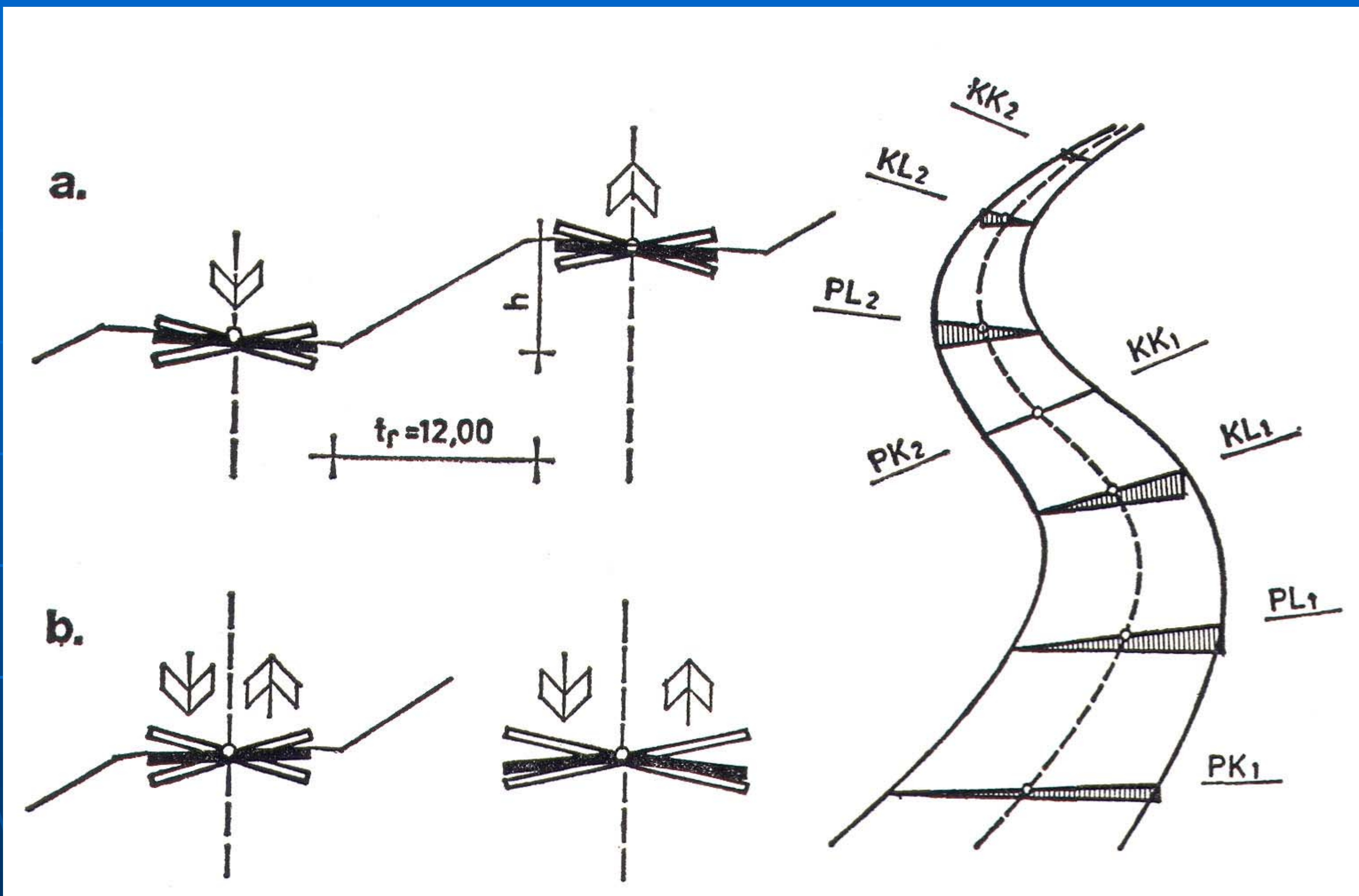
- витоперење око осовине коловоза

препоручен начин за двосмерне путеве и аутопутеве са самосталним коловозима

равномерна расподела деформација ивичних линија

могућност остварења благог нагиба рампе витоперења или краћег потеза витоперења

нивелета остаје константна, не одступа од усвојене у процесу трасирања



Типови путних профила за које се препоручује витоперење
око осовине коловоза

- витоперење око ивице коловоза

двоструко веће дужине прелазних рампи пошто се на слободној ивици одражавају све промене нагиба

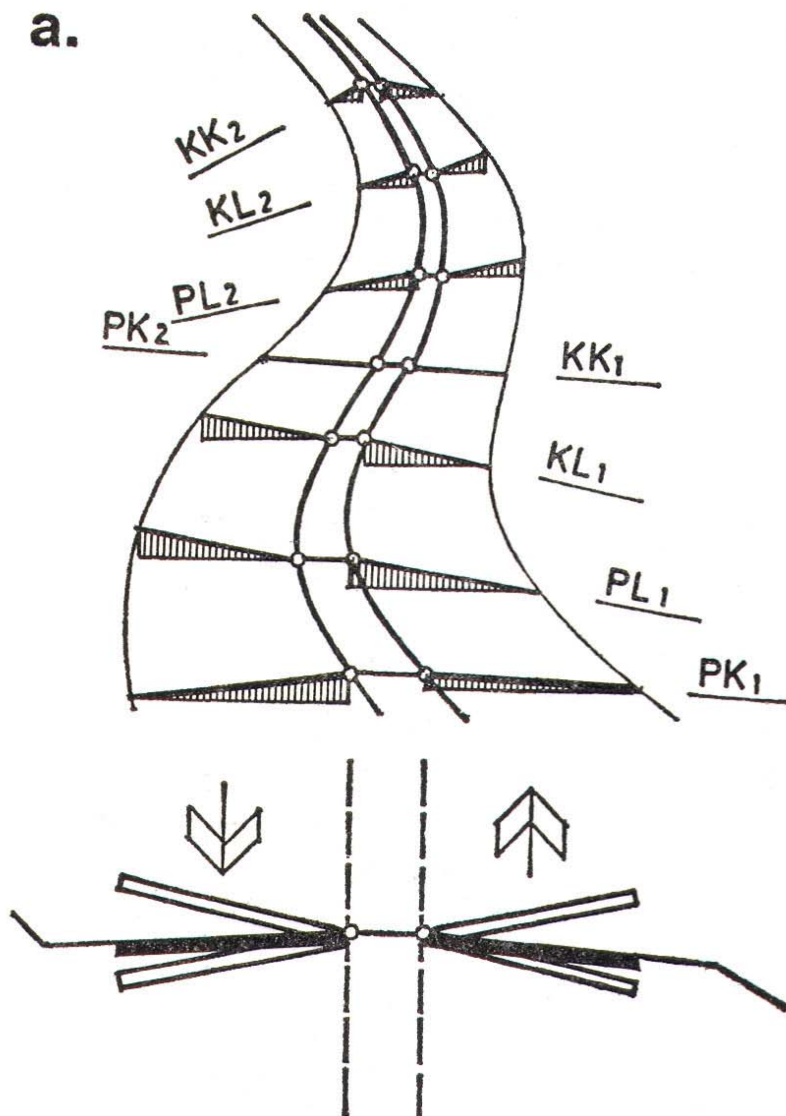
примењује се углавном код једносмерних коловоза на денивелисаним раскрсницама и аутопутевима са минималном ширином разделне траке

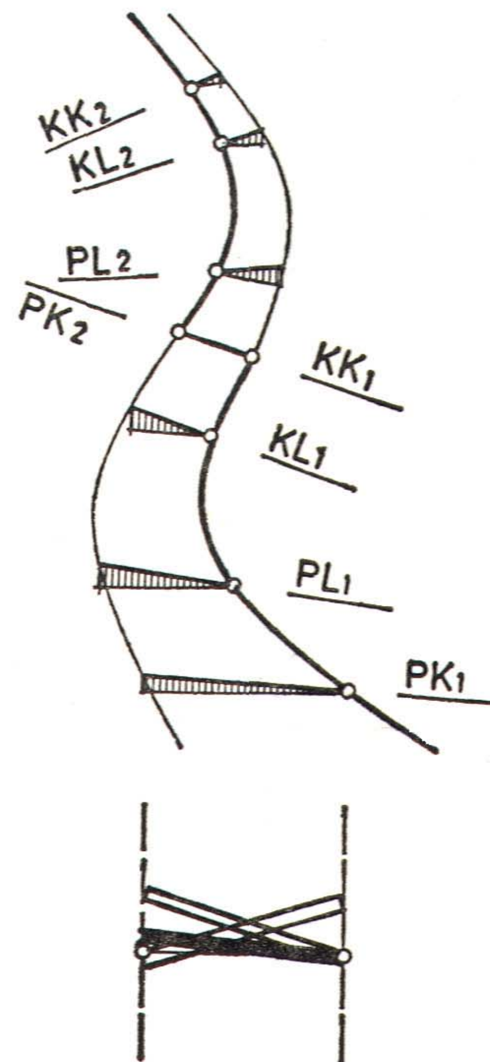
уобичајено је витоперење око унутрашње ивице

спољна ивица се издиже и наглашава физичке могућности кривине (психолошка припрема возача)

за аутопутеве витоперење се обавља око коловозне ивице уз разделну траку, постиже се стандардно нивелационо решење средње траке)

нивелета трпи корекције у кривинама



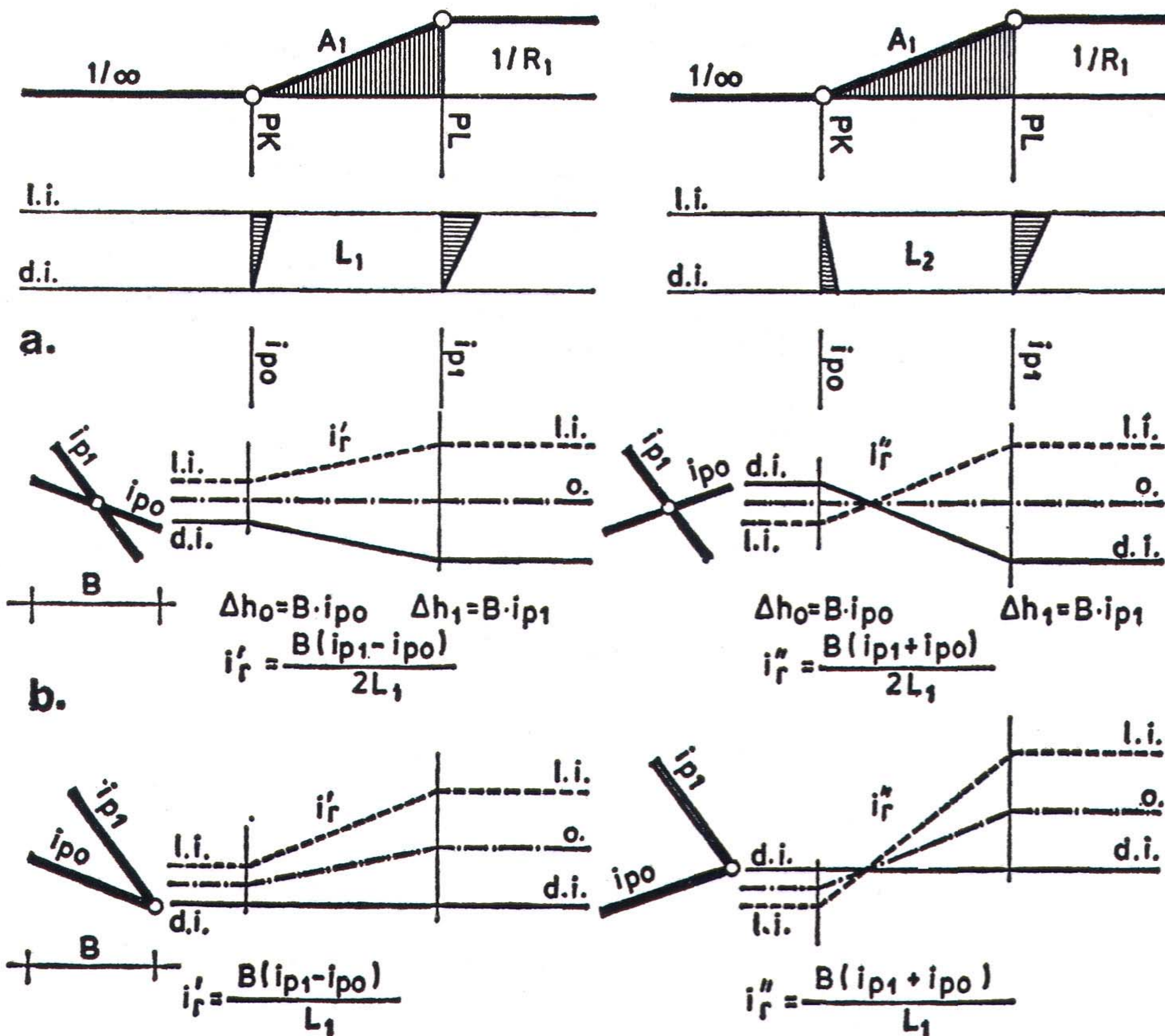


Типови путних профила код којих се примењује витоперење око ивице коловоза

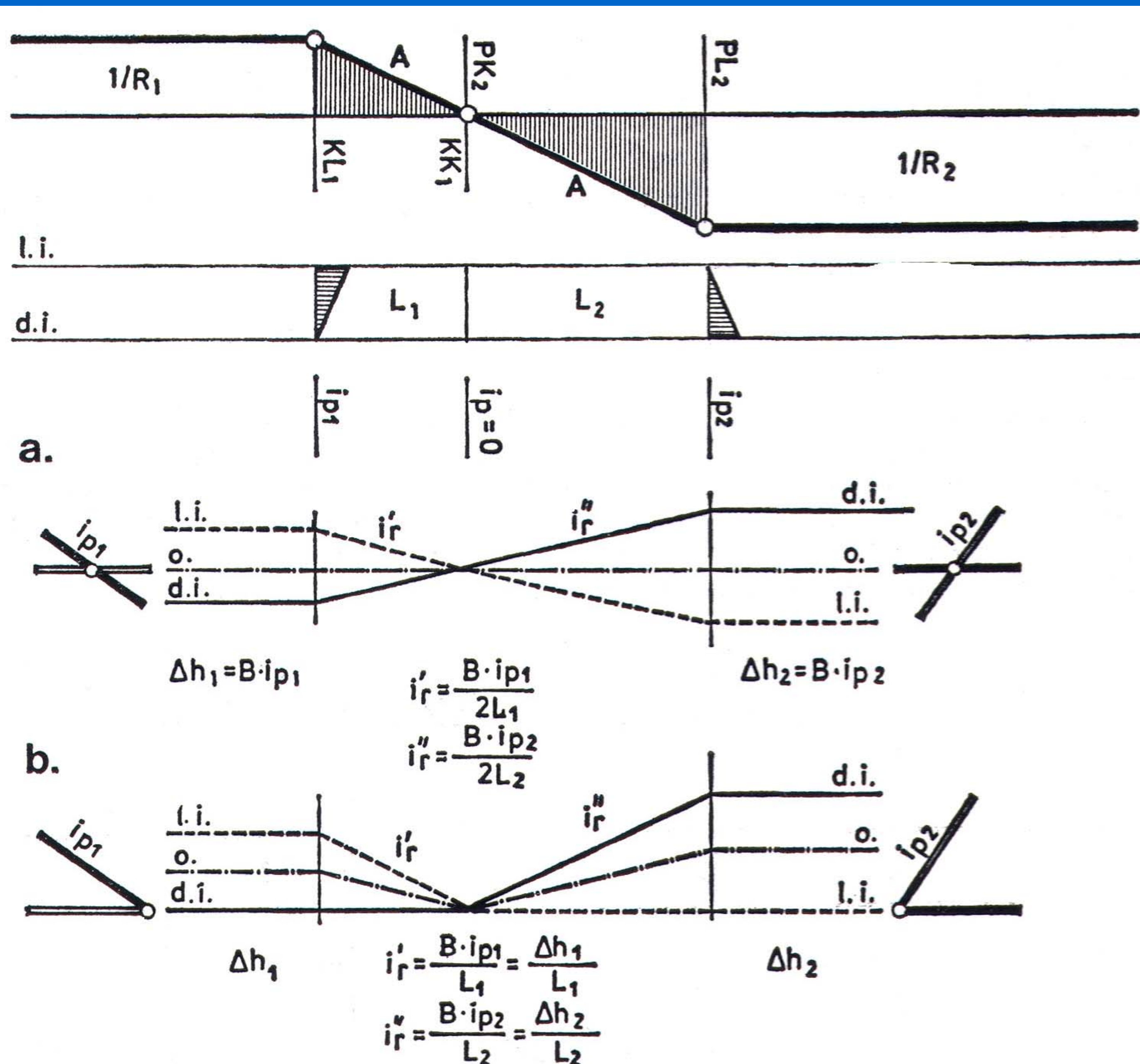
- ✓ шеме витоперења

  линеарне шеме са којима се утврђује законитост висинских промена и сагледавају естетске, конструктивне и возно-динамичке последице

  за кривину радијуса R, параметра прелазне кривине A/дужине L и ширину коловоза B, треба да буду познати почетни и завршни попречни нагиби (i_{po}, i_{pk}) и усвојен систем витоперења да би се конструисао нивелациони ток осовине и ивице коловоза



Карактеристичне шеме витоперења просте путне кривине



Карактеристичне шеме витоперења S кривине

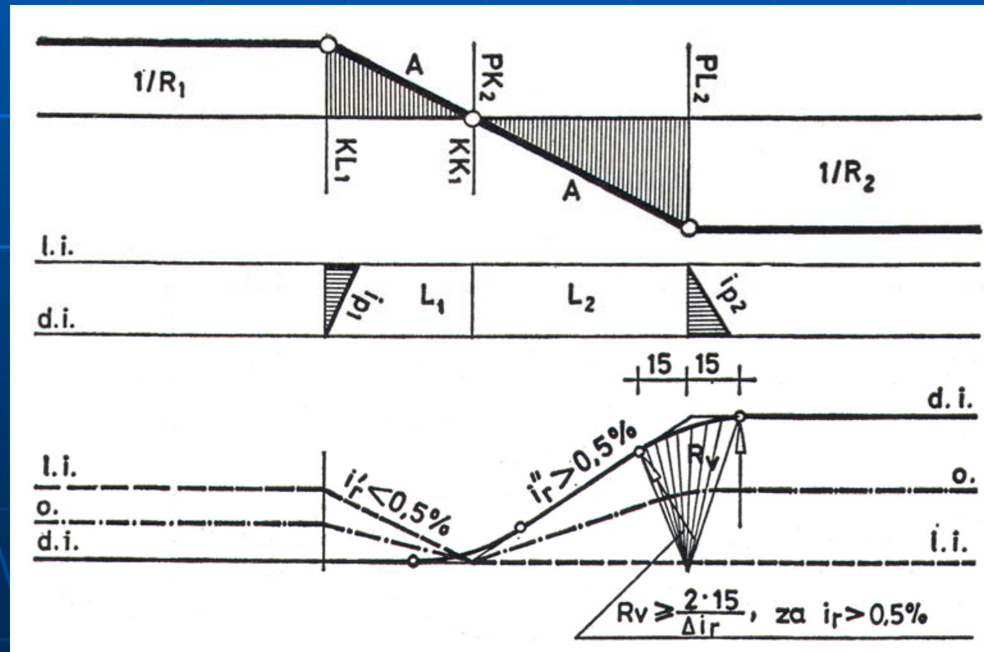
рампа витоперења има нагиб независан од нагиба нивелете

максималан нагиб рампе витоперења 0,5 %

планински путеви и рампе денивелисаних раскрсница 1,0 (1,2) %

заобљење прелома за $i_r > 0,5$ % са $R_v \geq 2 \cdot 15 / i_r$

max i_r само код кривина малог R и A

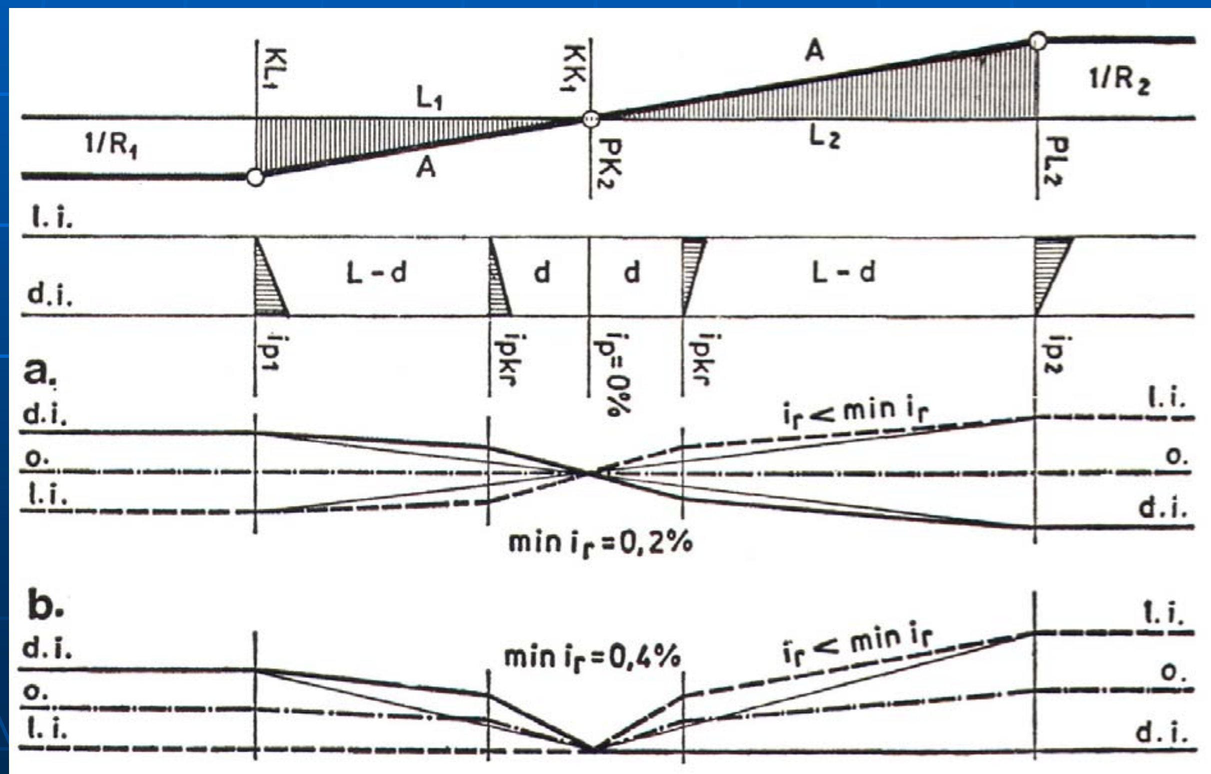


Заобљење ивичних линија за велики нагиб рампе витоперења

за дугачке прелазнице може се јавити спора промена попречног нагиба коловоза

минималан нагиб рампе витоперења 0,2 % за витоперење око осовине и 0,4 % око ивице коловоза

двостепено витоперење до и од критичног попречног нагиба krit i_p=1,5 (2,5) %



Витоперење коловоза на дугим прелазним кривинама

- ✓ возно-динамички ефекти

са променом закривљености мења се и јединична центрифугална сила

манифестација као бочни потисак

мења се и статички потисак као последица попречног нагиба коловоза

резултујући бочни потисак који се савлађује трењем

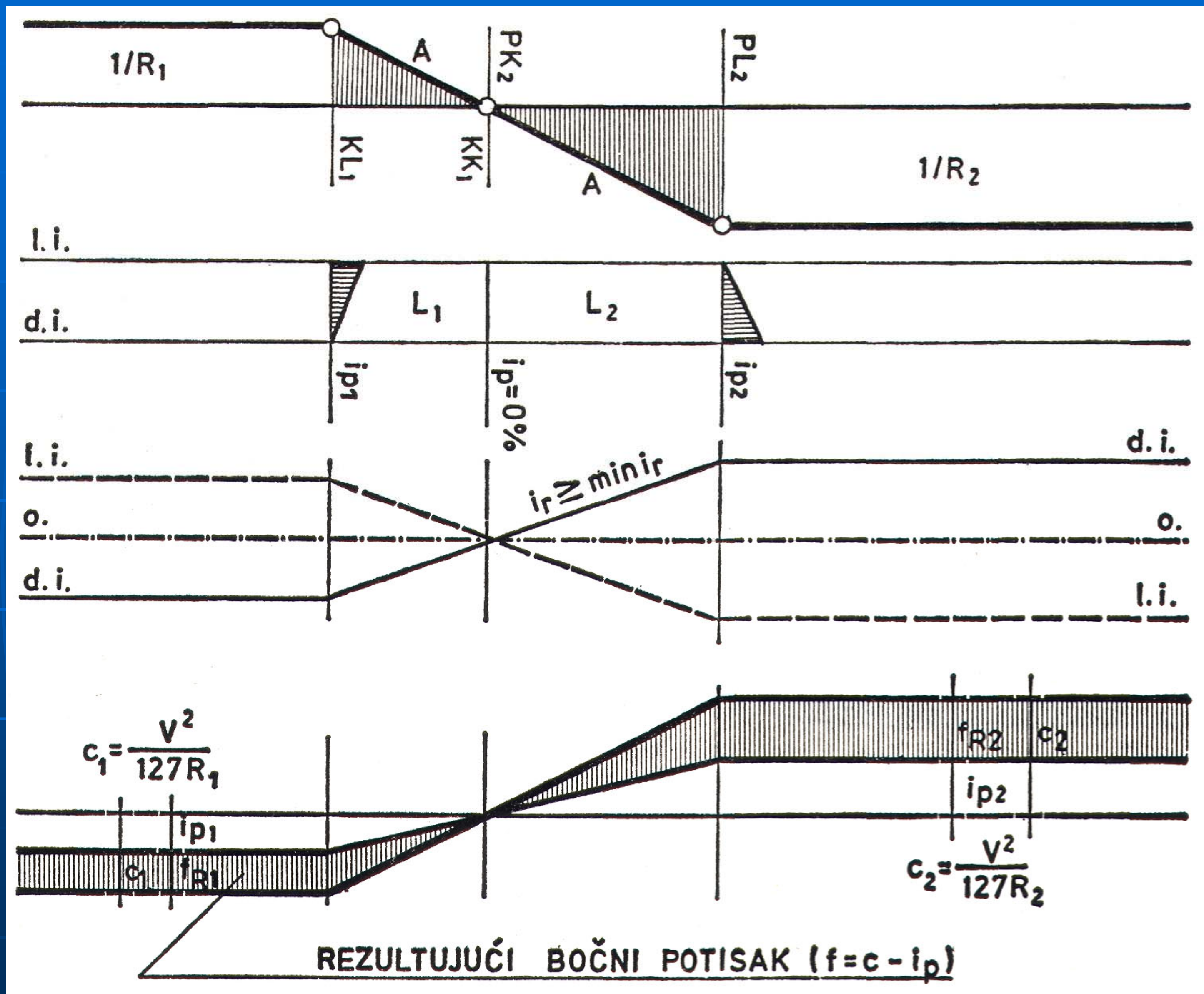
$f_R = c \pm i_p$

мера удобности вожње

центрифугални потисак расте линеарно и смер му је ка спољњој страни кривине

потисак од попречног нагиба је променљив и по смеру и по интензитету

возно-динамичка анализа даје дијаграм теоријских бочних потисака у кривини

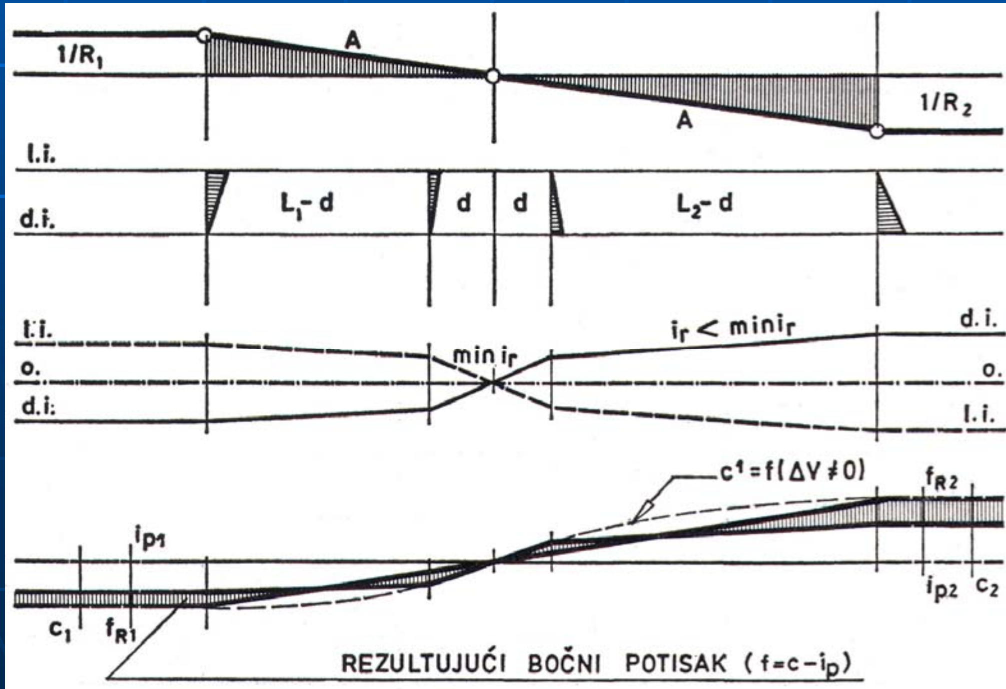


Дијаграм теоријских бочних потисака у S кривини са континуалном променом попречних нагиба

за дугачке прелазнице може се јавити наизменична промена смера резултујућег потиска

динамичка неусаглашеност примењених геометријских елемената-кориговати прелазнице ако се не нарушавају остали геометријски и ликовни односи

најчешће се вози са убрзањем што битно мења претпостављену расподелу центрифугалног потиска



Дијаграм теоријских бочних потисака у S кривини са двостепеном променом попречних нагиба

Трасирање и обликовање

- траса је просторна конструкција у којој су обједињени елементи три основне пројекције- просторна слика пута са тродимензионалним координатама (X_i, Y_i, Z_i)
- циљ: остварити функционалну трасу, која ће истовремено бити поуздана и стабилна у инжењерском погледу, естетски обликована и уклопљена у пејзаж
- економски захтеви
- траса је уникатан производ (велики изазов и одговорност пројектанта, лична вештина и инжењерски осећај)

- принципи вођења трасе

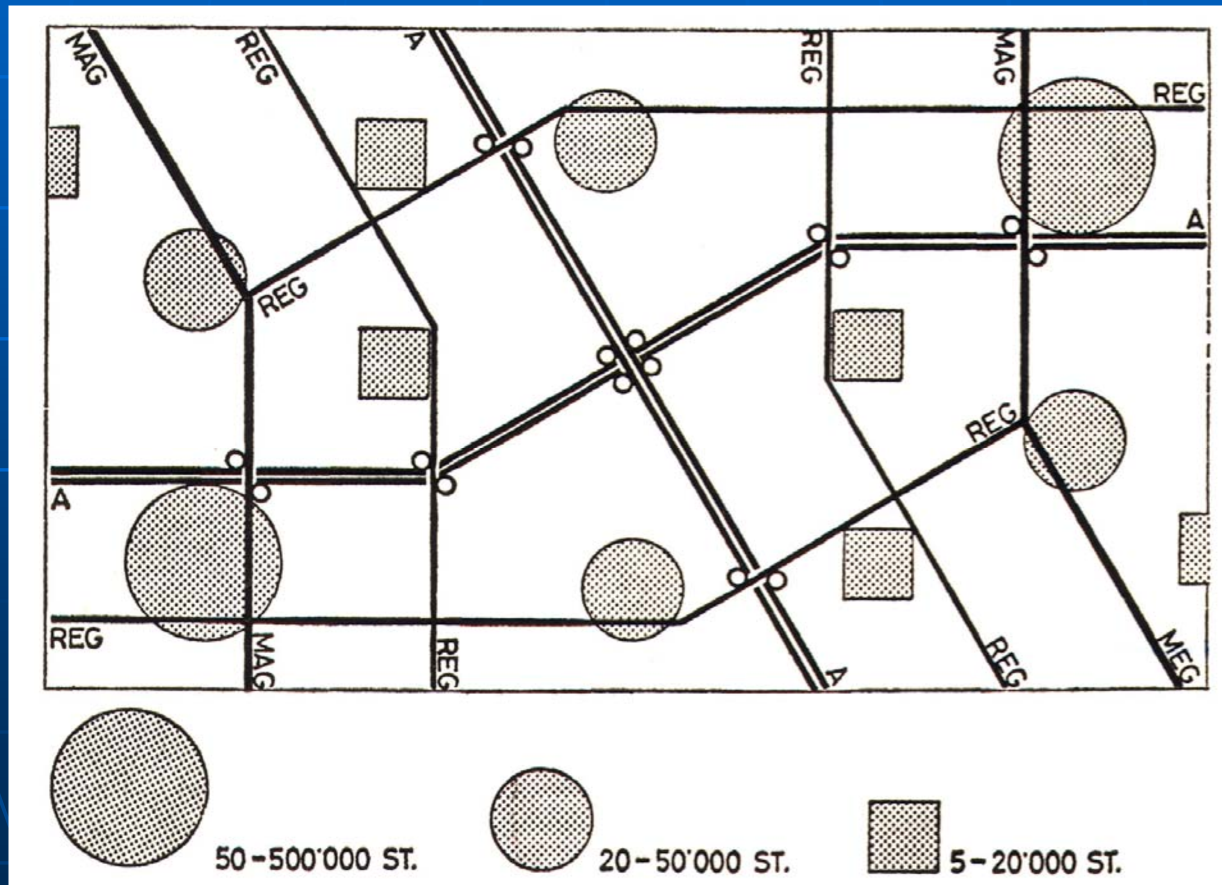
  планерски приступ трасирању (однос према насељима и намени простора и према природној средини)

  локални путеви служе за повезивање насеља која су главни извори и циљеви путовања (свакодневни радни саобраћај везан за производњу и активности становништва)-пролаз кроз сва насељена места

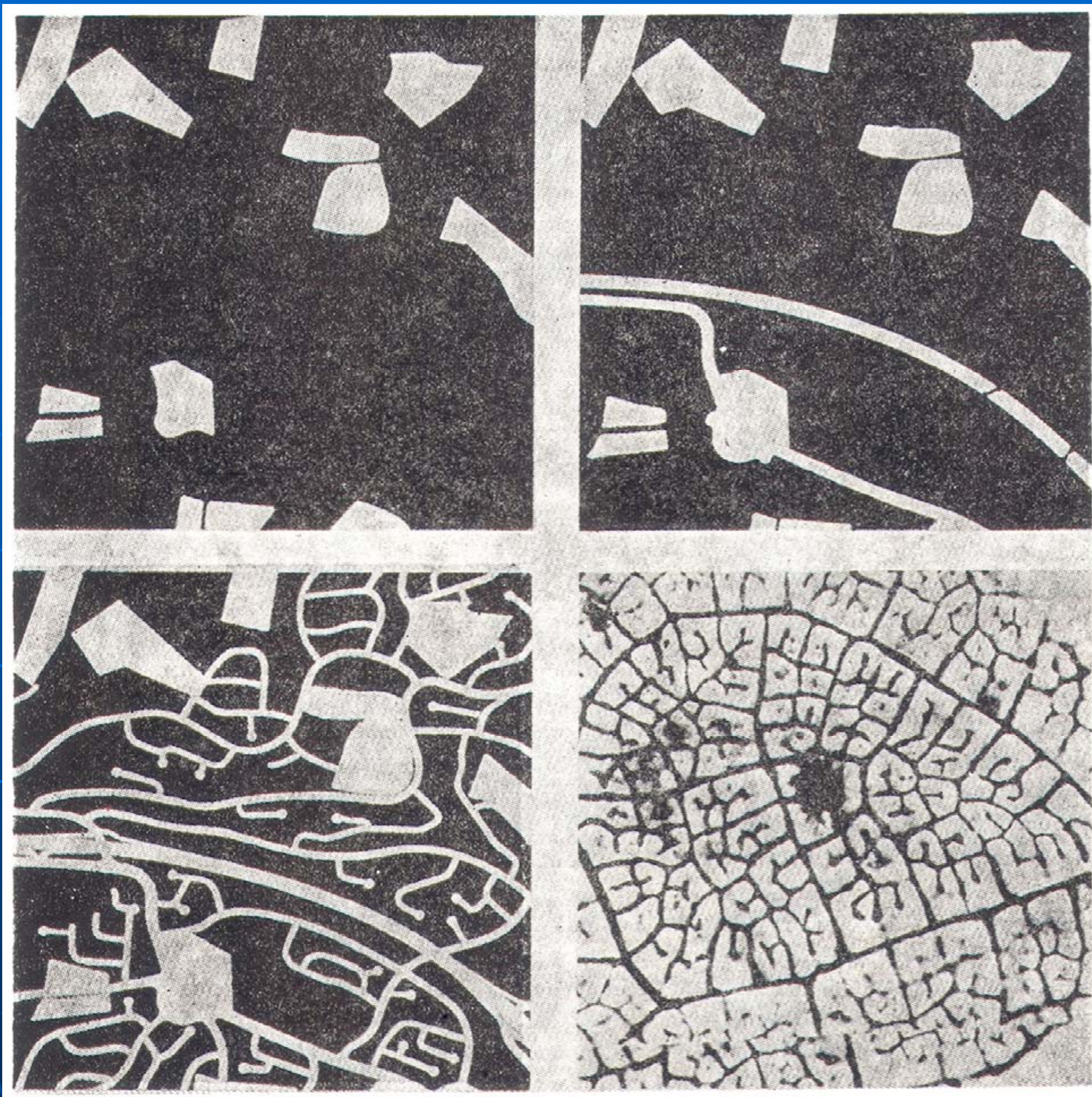
  регионални путеви носе привредни и радни саобраћај већег домета, до 60 km (на њих се везују локални путеви, а сами се везују на магистралне)-обилазак малих места сеоског типа, тангирање већих насеља, пролаз кроз градове са више од 20.000 становника

  магистрални путеви су основа државне путне мреже са саобраћајем великог домета-обилазак свих насеља и градова до 20.000 становника, тангирање градова средње величине, пролаз кроз градове са више од 50.000 становника (регионални центри)

аутопутеви су највиша класа магистралних путева- обилазак свих насељених места, тангирање градова величине 50-500.000 становника, оправдан пролаз за велике градове са више од 500.000 становника (75 % саобраћаја циљно)

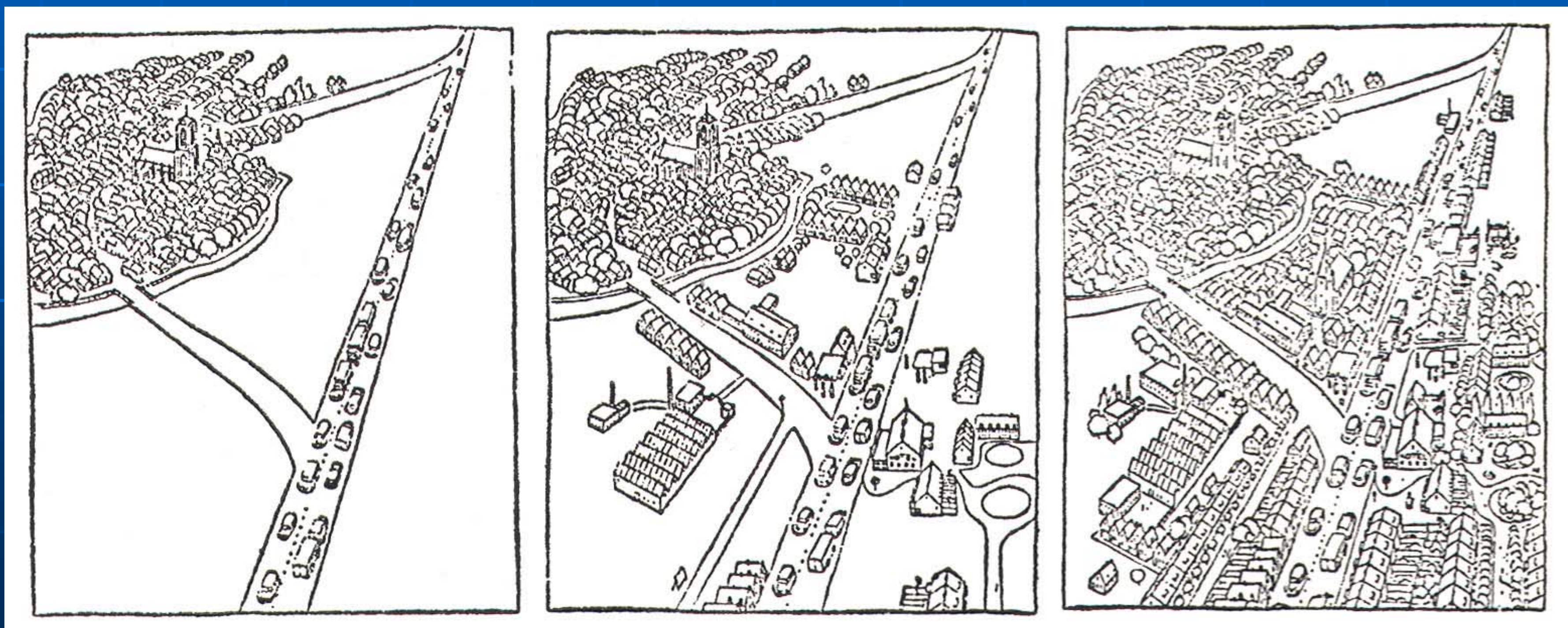


Шематски приказ односа трасе према насељима



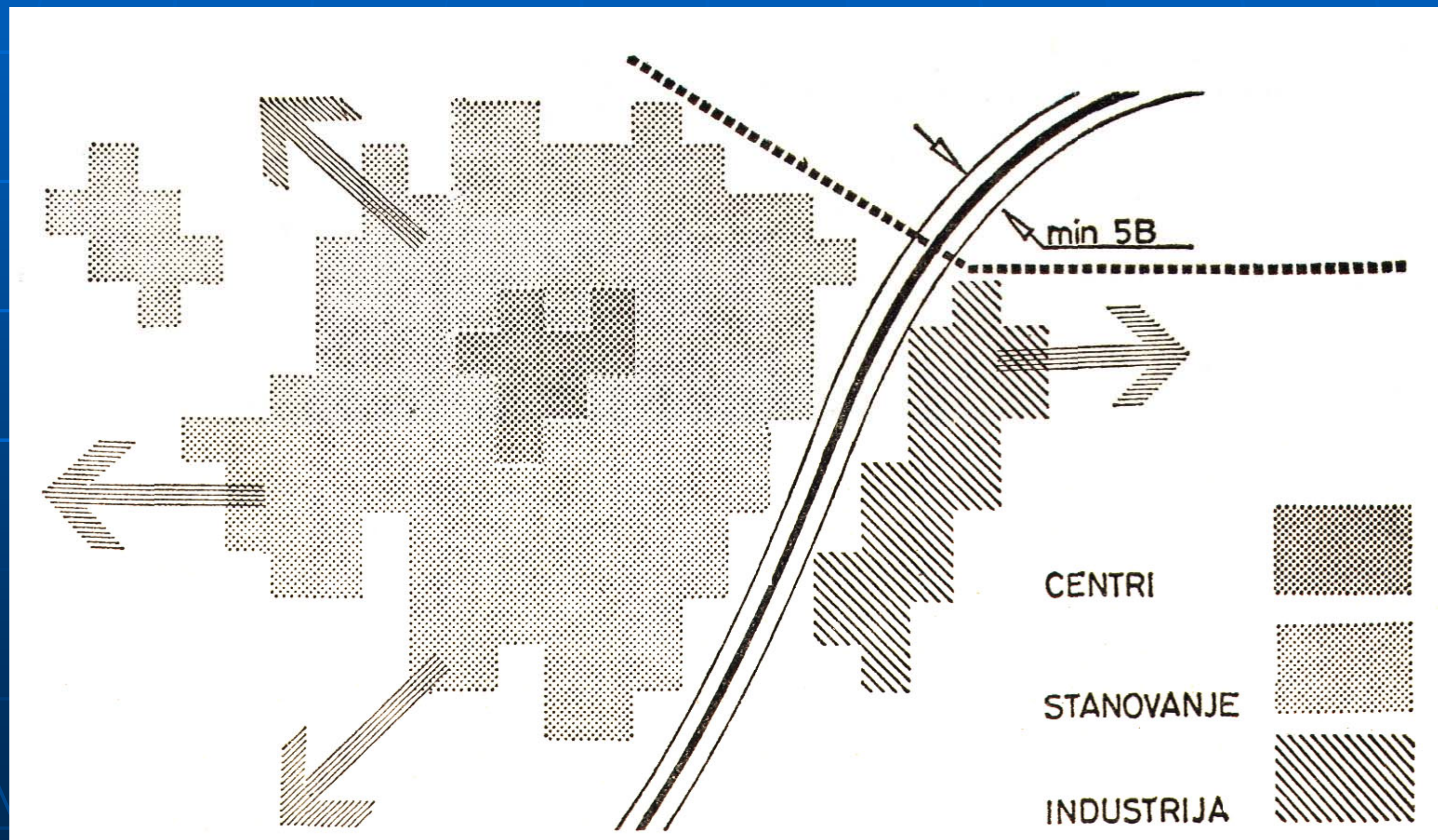
Органска структура путне мреже
(биљни свет-нервни систем-крвни систем)

- поремећаји у срединама где је технолошком револуцијом нарушен општи склад и хијерархија односа у природи
- градови изложени стихијским утицајима моторизације (у XX веку најчешће су посматрани са становишта аутомобила)



Узајамност утицаја пута на град и града на пут (Данска)

- планирати коридоре изван стамбених насеља и центара активности за рагионалне и магистралне путеве
- пожељан пролаз кроз радне-индустријске зоне или на граници становања и индустрије

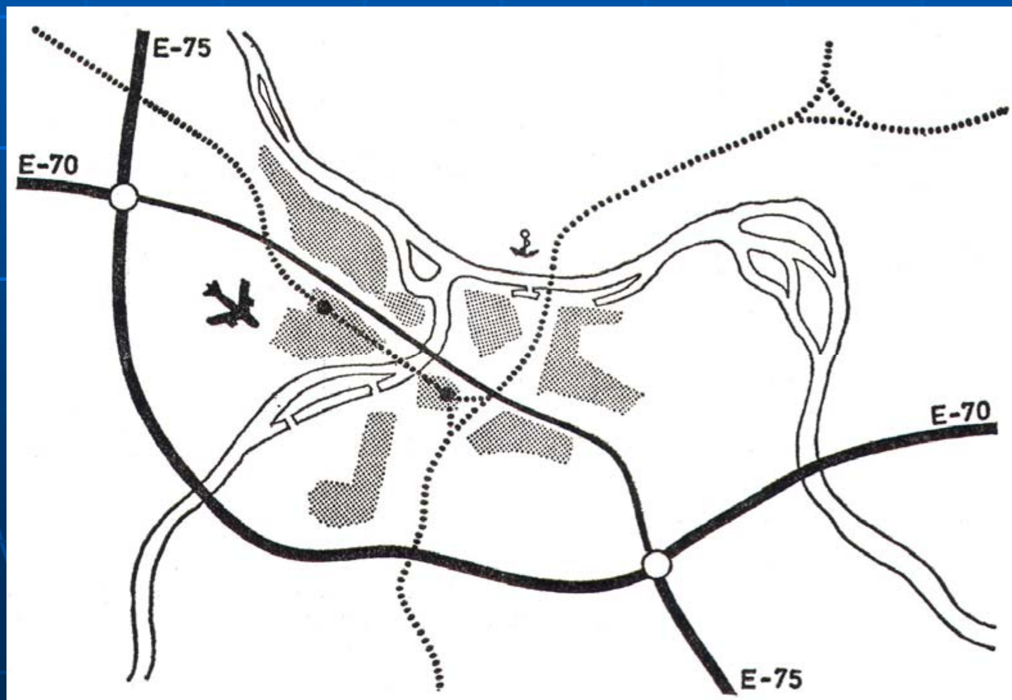


Однос трасе пута према урбаним садржајима

аутопутеви и путеви са комерцијалним системом експлоатације треба да обиђу све урбане зоне уз континуитет експлоатације

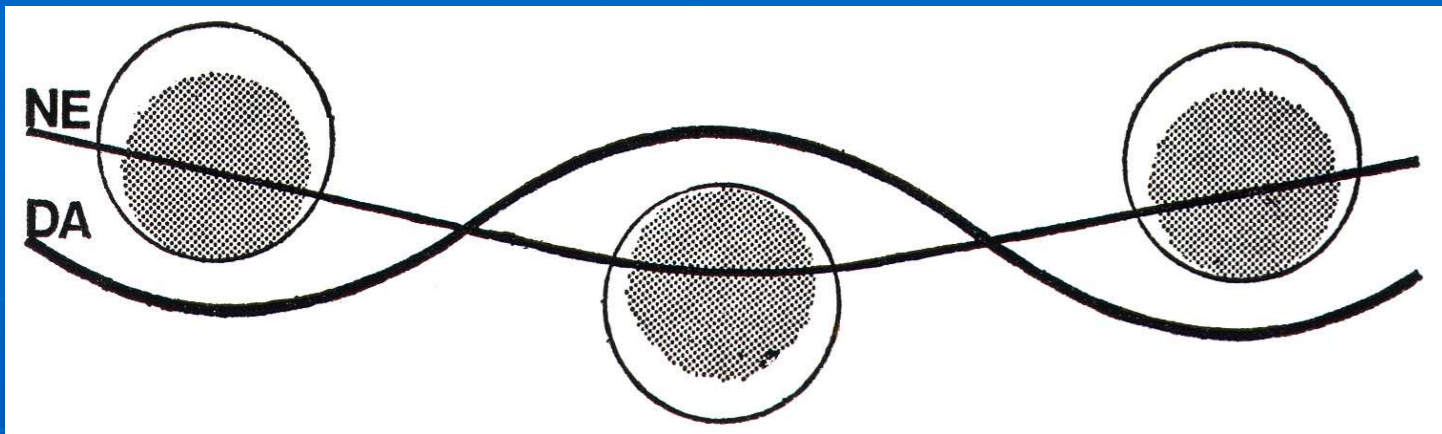
планирати коридоре који ће обезбедити независност саобраћајнице најмање 50 година

терминали морају бити унутар система слободне експлоатације



Мрежа магистралних праваца на подручју Београда

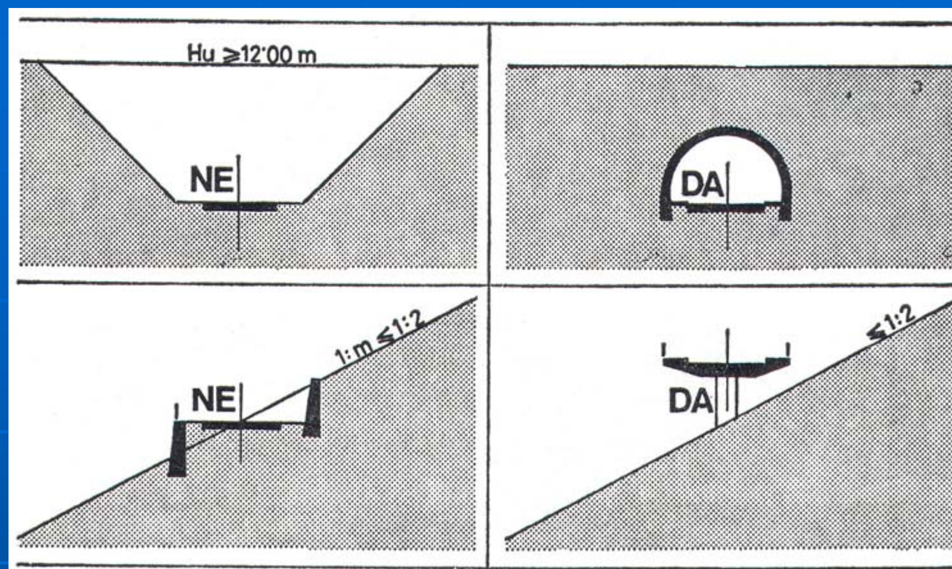
- осмислити акције да се не угрожава природно наслеђе и не погоршавају услови будућег развоја
- моделирање животне средине, најчешће против себе и будућих генерација
- неопходно је пажљиво испитивање коридора (негативне последице по мир и безбедност околних становника)
- не нарушавати постојеће амбијенталне целине (компактни шумски комлекси, замљишта високе пољопривредне вредности, природни резервати, излетишта, изворишта, историјске целине и др)
- не реметити устаљени микроклимат (насип-вијадукт, економски разлози грешки)
- оправдани су захвати који се ненасилним средствима могу оплеменити и довести на ниво околине (дубоки усек-тунел, засек-падински вијадукт)



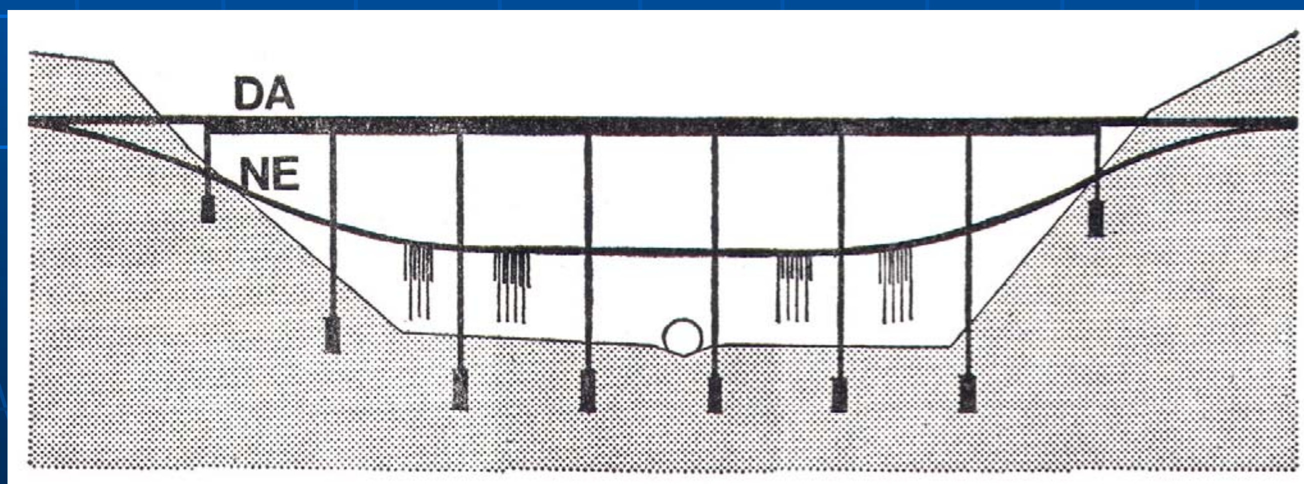
Принцип очувања постојећих амбијенталних целина



Складно обликована траса (аутопут Frankfurt-Nürnberg)



Положај трасе у попречном профилу на стрмој падини



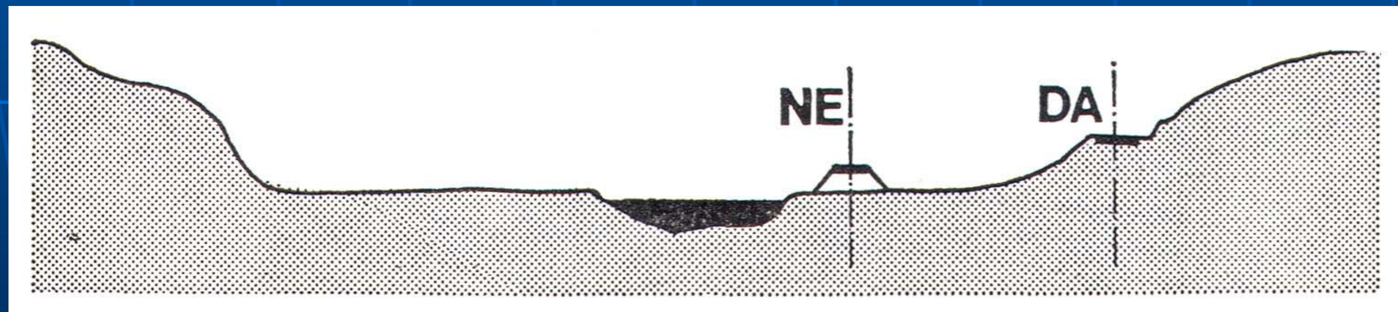
Принцип очувања устаљеног микроклимата





Успешно и неуспешно вођење трасе на стрмим падинама

- инжењерско-технички приступ трасирању (стабилна и поуздана траса у свим условима експлоатације, најкраћи потези за најмање трошкове екпсплоатације, најмања инвестициона средства)
- у широким речним долинама трасу поставити уз ивицу падине, а не уз речно корито (стабилна траса, приступ речној обали, развој долине, коришћење реке)



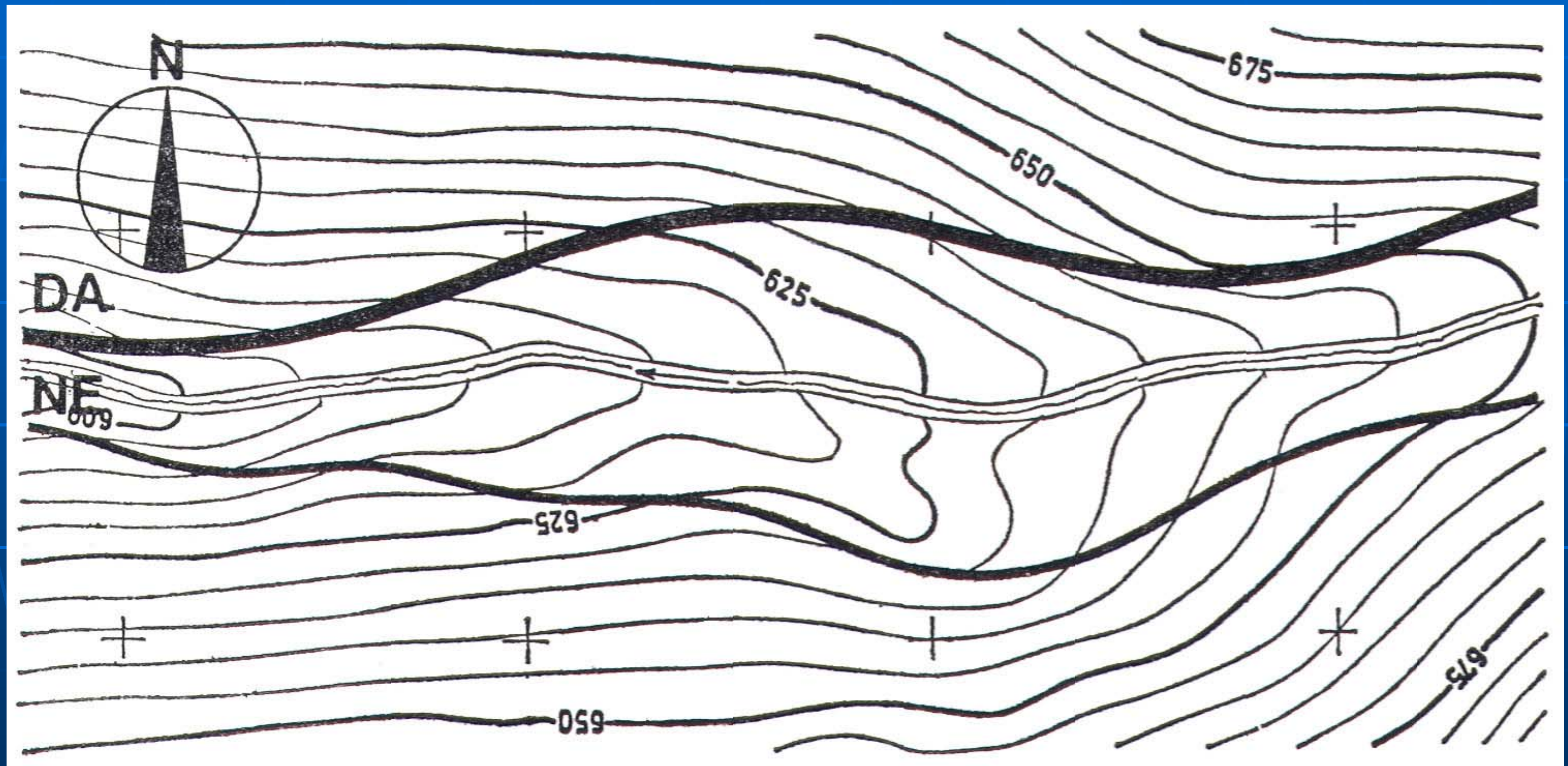
Положај трасе у широкој речној долини

у уским речним долинама одустати од праћења долине ако то захтева непрекидно засецање у истурене делове падине, прећи на врхове падина или вододелницу (целисходније и стабилније)



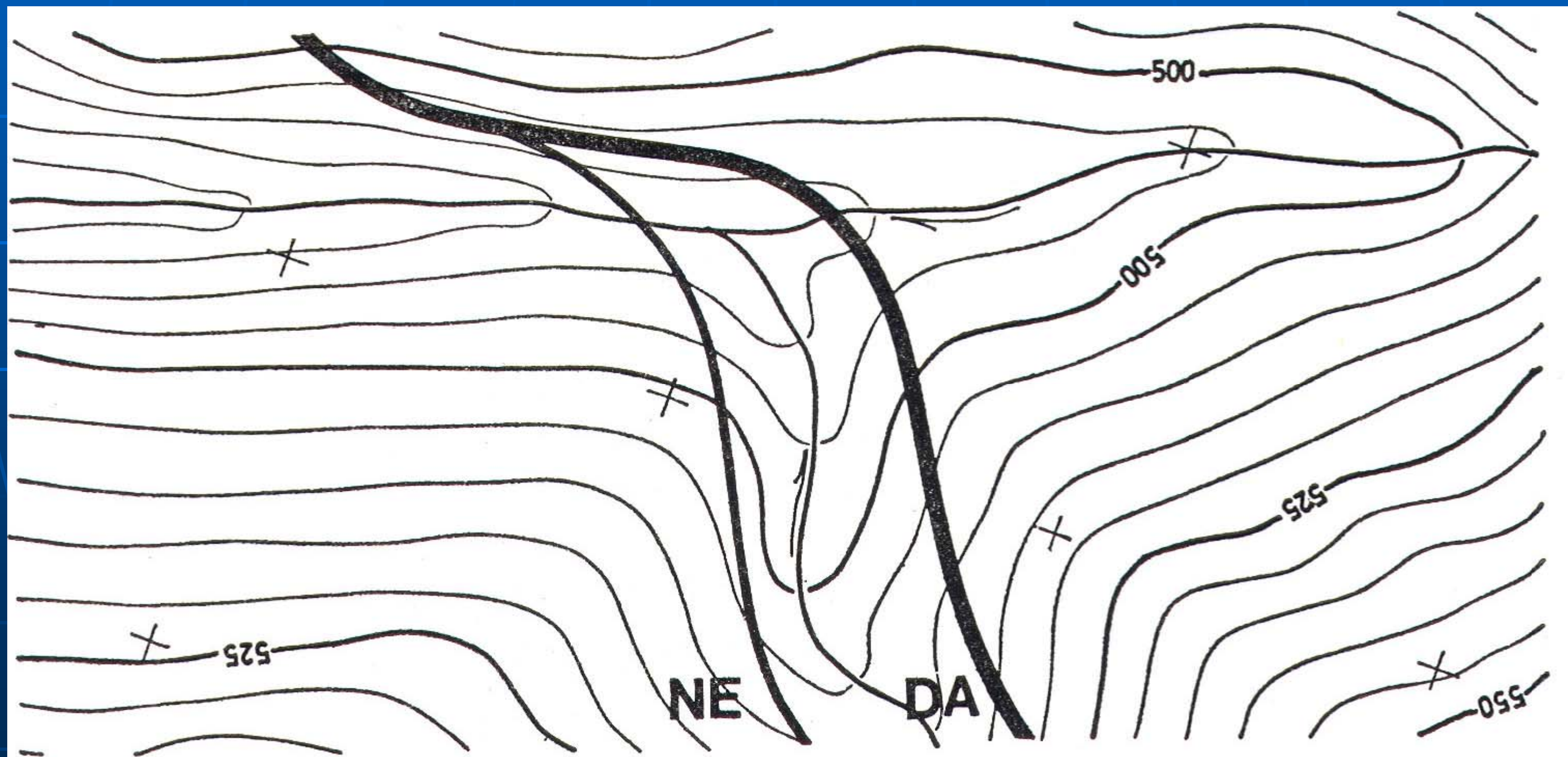
Положај трасе у уској речној долини

трасу водити осунчаном страном (геотехничка стабилност, оцеђивање и просушивање коловоза)



Вођење трасе осунчаном падином

за прелазак речне долине бирати најужа места са “здравим” падинама и стабилним хидрауличким режимом водотока (мостови су подређени траси, водити рачуна избору места преласка, могу бити у хоризонталним и вертикалним кривинама, осим делимично код пловних река)



Прелазак речне долине

- вододелнице и уздужни гребени су најчешће повољна места за пролазак трасе (оцедне и геолошки стабилне, изложене ветровима и снежним наносима, водити рачуна о надморској висини, климатским и метеоролошким условима)
- у равници трасу водити плитким насипом висине 1-2 m (прегледност, лако одводњавање, нема проблема са подземним водама, минимално завејавање и лако чишћење током зиме, добро уклапање у пејзаж)
- стабилност директно зависи од ефикасности система за прихватање и одвођење површинских и подземних вода (скоро 80 % оштећења и/или пропадања путне конструкције је изазавано водом)
- Рим: “MEMENTO AQUA” (сети се воде)

- ✓ техника трасирања

  трасирање-фаза пројектовања у којој се успостављају геометријске законитости три пројекције и једнозначно дефинишу пројекне линије у апсолутном координатном систему

  изводи се у корацима, зависно од фазе израде пројектне документације, размере подлога и значаја путног правца (најчешће се везује за идејни пројекат, али и делимично за генерални у једноставнијем смислу)

  програмски услови (категорија пута, меродавно саобраћајно оптерећење, услови одвијања саобраћаја, рачунске брзине по деоницама, систм експлоатације, оквирни положај раскрсница, тип коловозне конструкције)

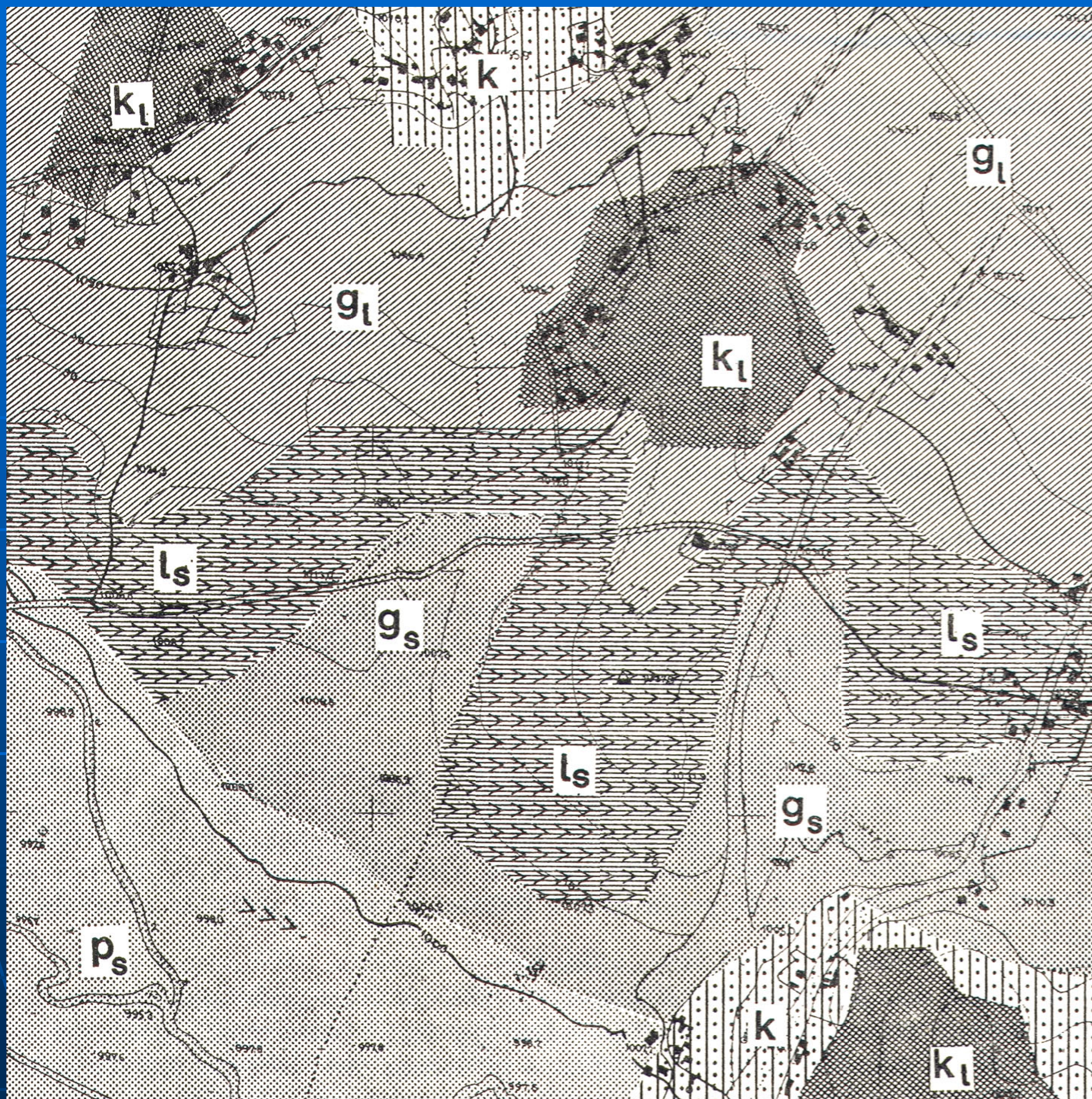
- димензионисање елемената нормалног попречног профила (детаљна техничка и економска анализа сваког елемента, могућности и потребе етапне изградње)
- гранични елементи плана и профила са становишта возно-динамичких, конструктивних и естетских захтева (максимална дужина правца, минималан радијус хорозонталне кривине, минималан параметар прелазне кривине, максималан подужни нагиб, минималан подужни нагиб, минималан радијус конвексног заобљења, минималан радијус конкавног заобљења, минимална визура зауставне прегледности, минимална визура претицајне прегледности)
- реално примењиве вредности су знатно повољније од граничних, остали елементи се димензионишу према резултујућој вредности пројектне брзине

прикупити релевантне податке у оквиру коридора (топографски, геомеханички, геоморфолошки, урбанистички и економски услови)-подлоге

најповољнији су системи који јединствено садрже све информације компатибилне са апсолутним координатним системом (GIS)

инжењерско-геолошка карта са збирним приказом основних геоморфолошких и геомеханичких карактеристика терена (савремени процеси, карактеристике стенских маса, геомеханичке карактеристике, хидрологија и др)

карта намене површина приказује постојећи и/или будући развој подручја, врсте и обим изградње, бонитет земљишта са оквирном парцелацијом, саобраћајне и инфраструктурне системе

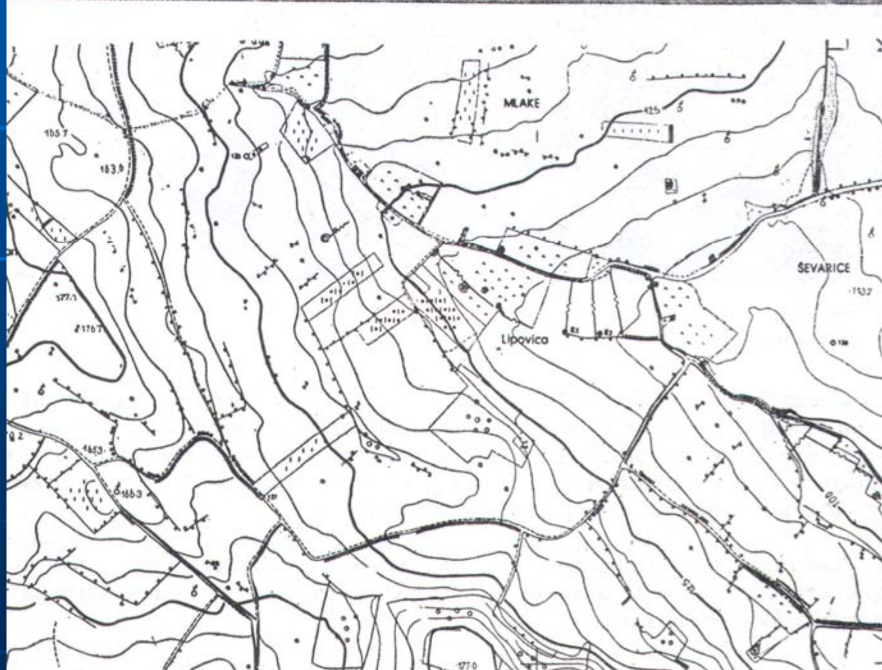


Инжењерско-геолошка карта

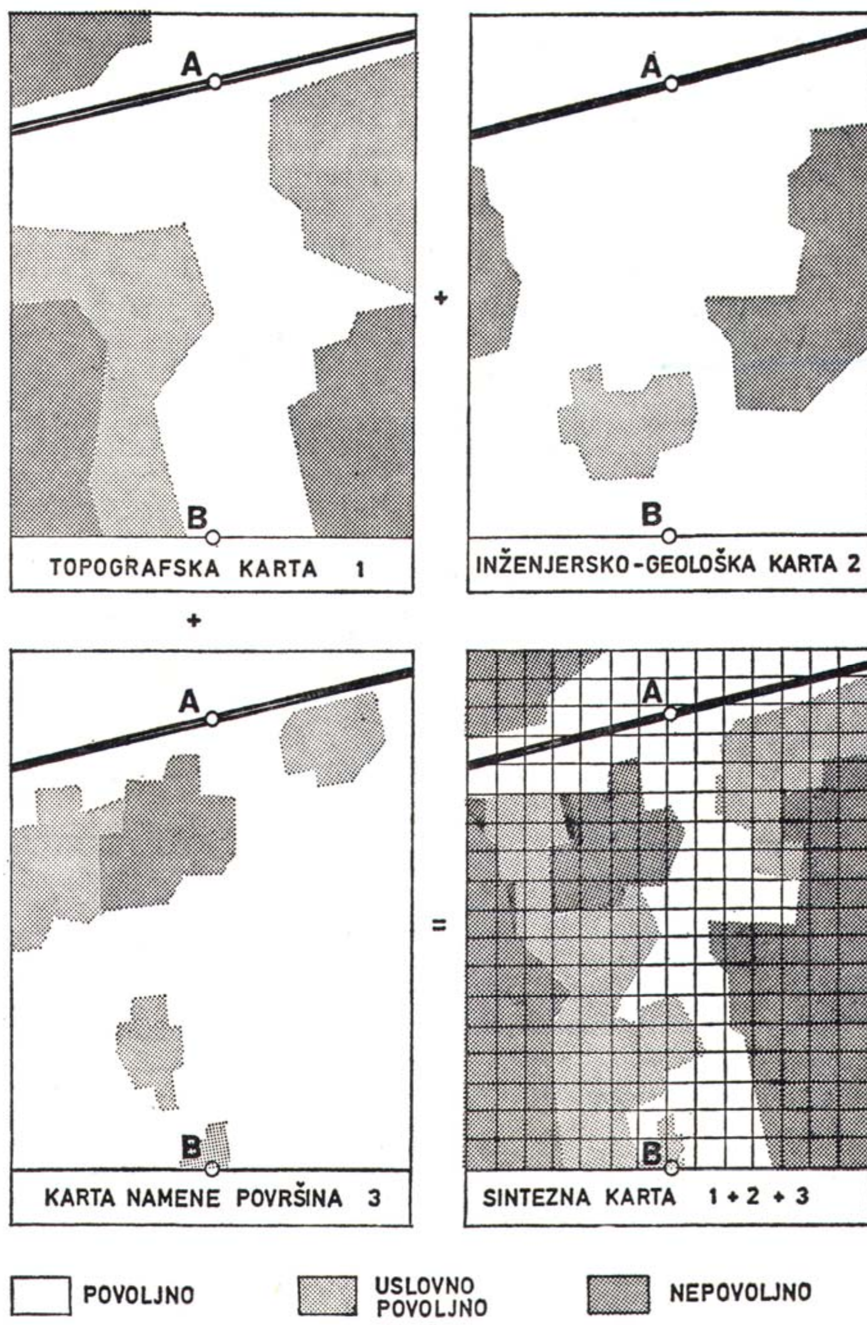
Карта намене површина

- топографска карта је основа за графичко дефинисање трасе (постојеће карте, снимање-класично геодетско или фотограметријско)
- аерофотограметријска метода са вишеструким предностима (фотографско, графичко и нумеричко дефинисање снимљеног појаса, економија, снимање тешко приступачних терена, смањење времена снимања, висок степен аутоматизације, неупадљивост, квалитетна интерпретација карактеристика коридора)
- најповољније су ортофото подлоге за трасирање (уразмерена фотографија са висинском представом)
- синтезна карта ограничења (графички и/или аналитички поступак, повољна-условно повољна-неповољна подручја)





Ортофото карта и топографска карта



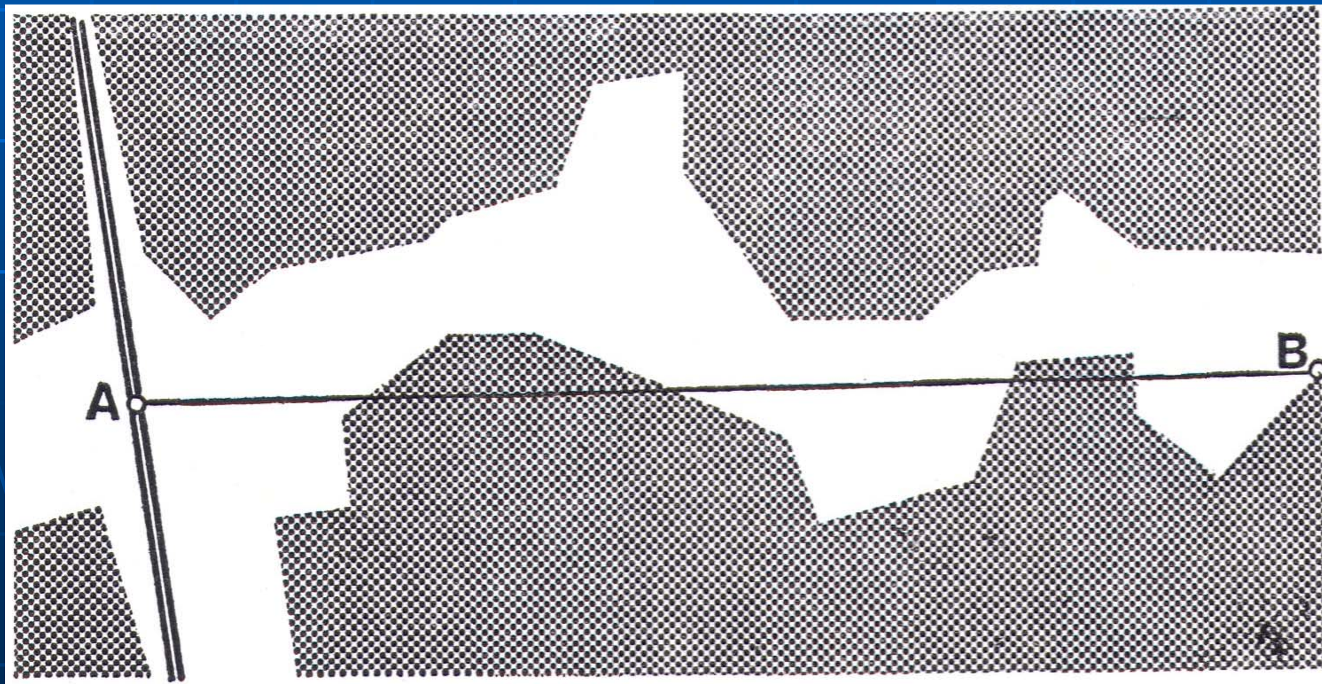
Синтезна карта ограничења

трасирање (груба осовина-нулта линија-геометријско дефинисање осовине-аналитичка обрада трасе)

логичан редослед-размена утицаја

путоказ за пружање трасе је ваздушна линија између почетне и крајње тачке разматране деонице

истраживање најповољнијих места за прелаз преко природних препрека



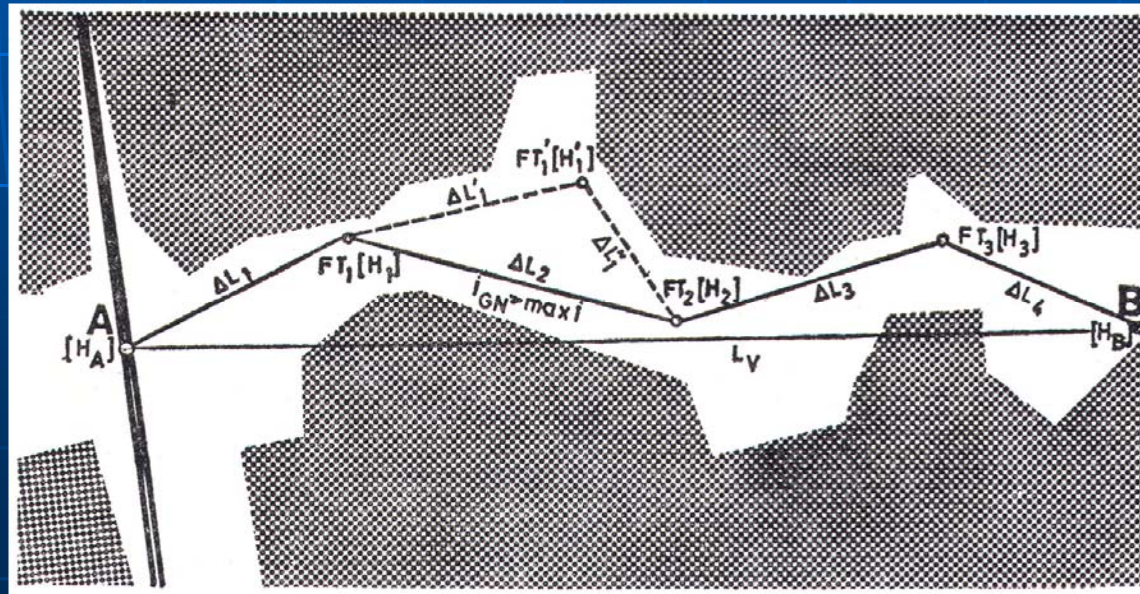
Генерална оријентација на карти

фиксне тачке се добијају анализом повољних места

груба осовина-спајање фиксих тачака правим линијама

пожељно да не пресеца ваздушну линију јер се тиме утиче на дужину трасе

провера вредности подужних нагиба по одсецима (процена треба да буде за један степен мања од граничне вредности) и оцена терена између суседних тачки



Груба осовина

нулта линија-путања константног нагиба између две фиксне тачке повијајући се по терену без земљаних радова

идеална осовина по питању грађења, изломљен полигон као водич за компоновање складних геометријских облика

може се конструисати само када је терен између две фиксне тачке униформних карактеристика

прогнозни подужни нагиб

$$i_N = \frac{\Delta H}{\alpha \cdot \Delta L} \cdot 100 \quad [\%]$$

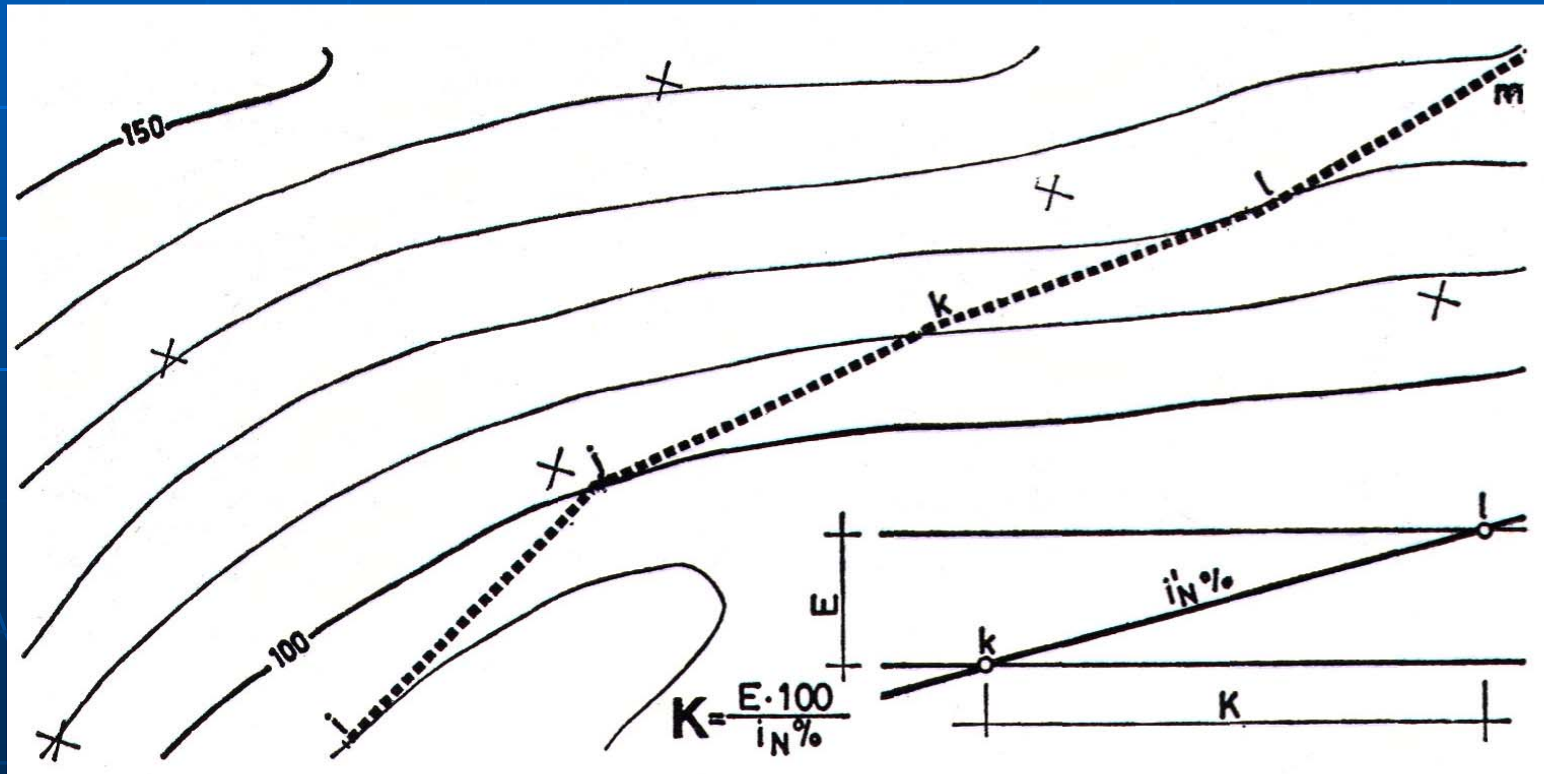
α - коефицијент развијања трасе, стандардни падински услови 1,05-1,15

корак за трасирање-хоризонтална дужина потребна за савлађивање стандардне висинске разлике

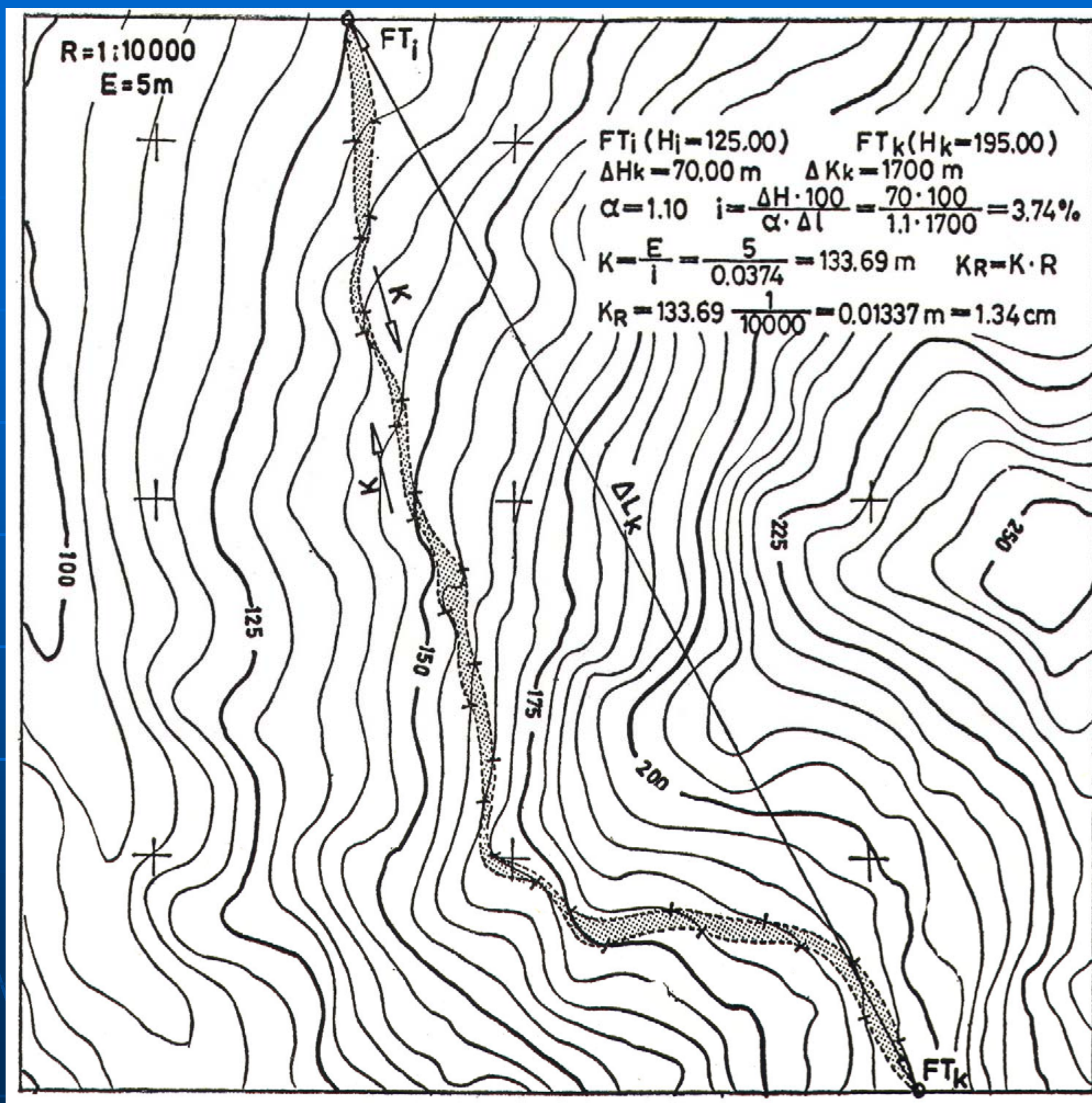
одмерање на карти помоћу шестарског корака од изохипсе до изохипсе

нулта линија прати теренске облике и може само једном сећи исту изохипсу

корачањем у оба смера добија се микро коридор пројектне осовине

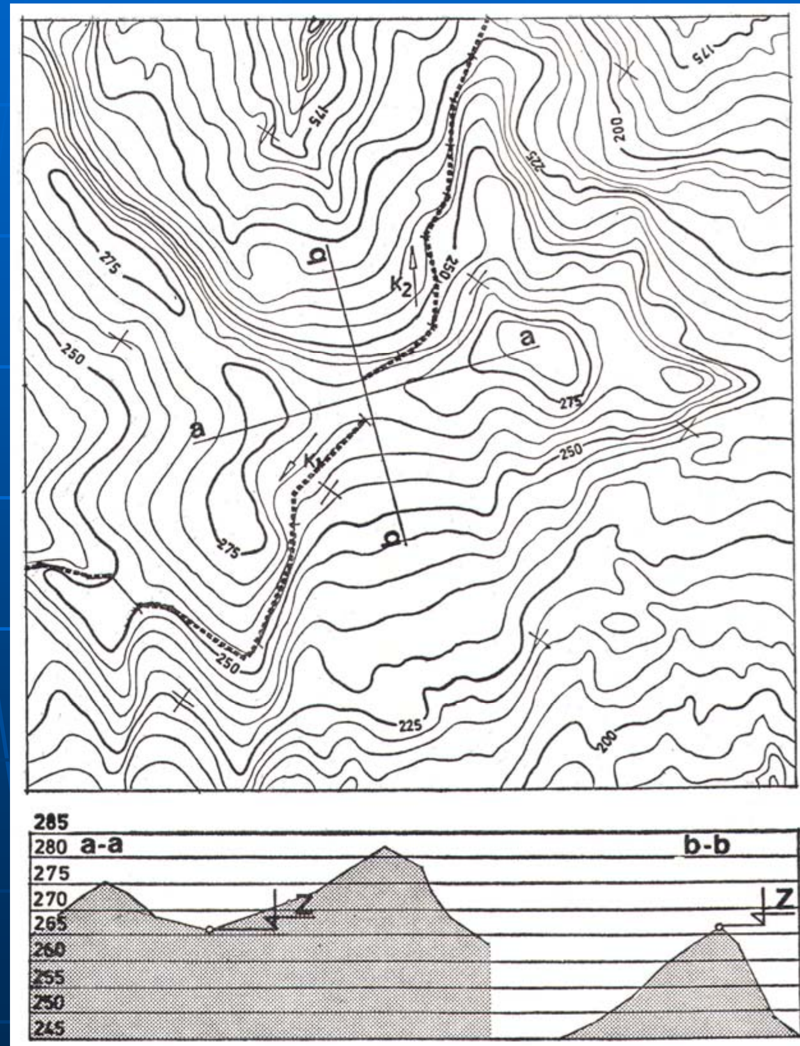


Корак и нулта линија

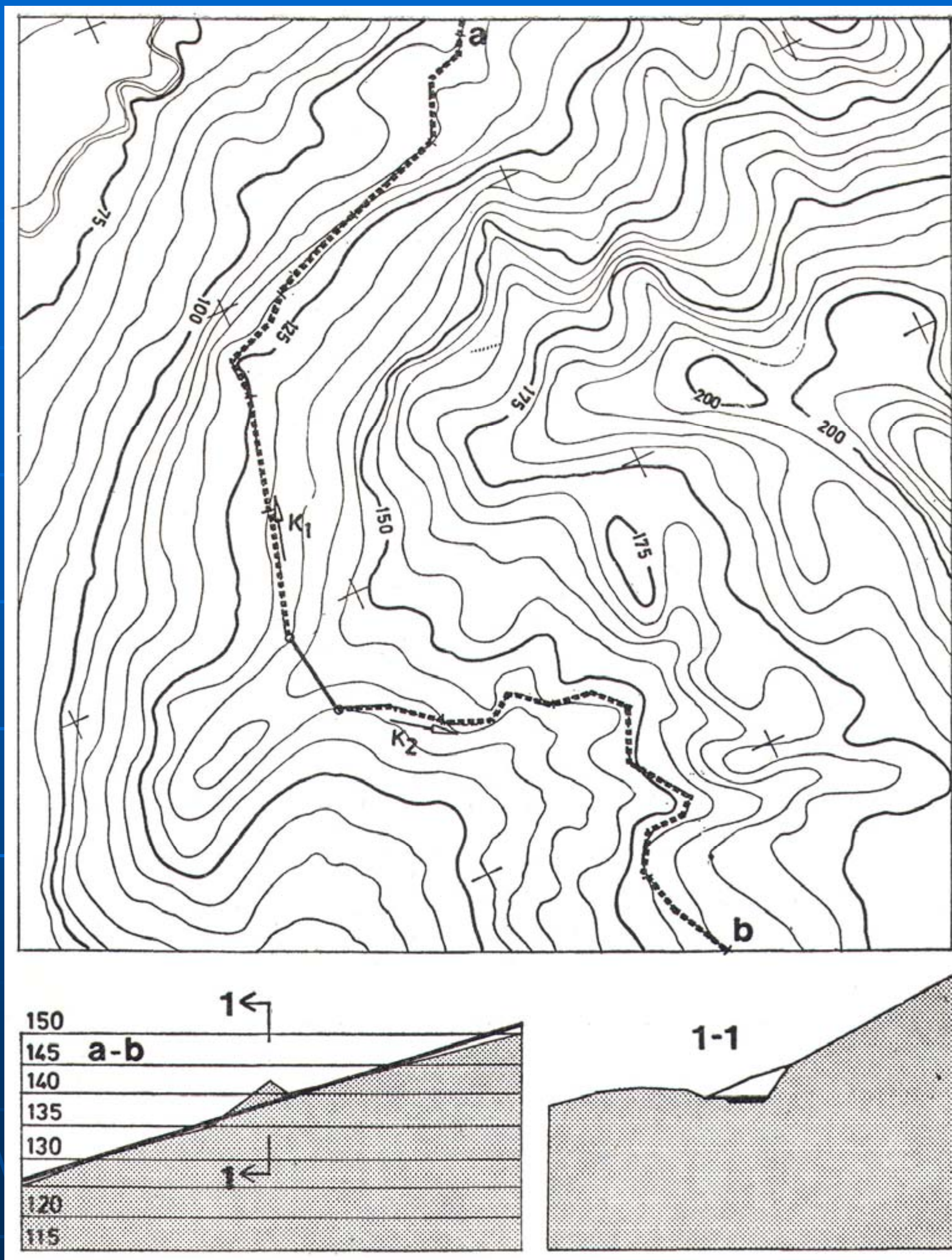


Нулта линија на падинској траси

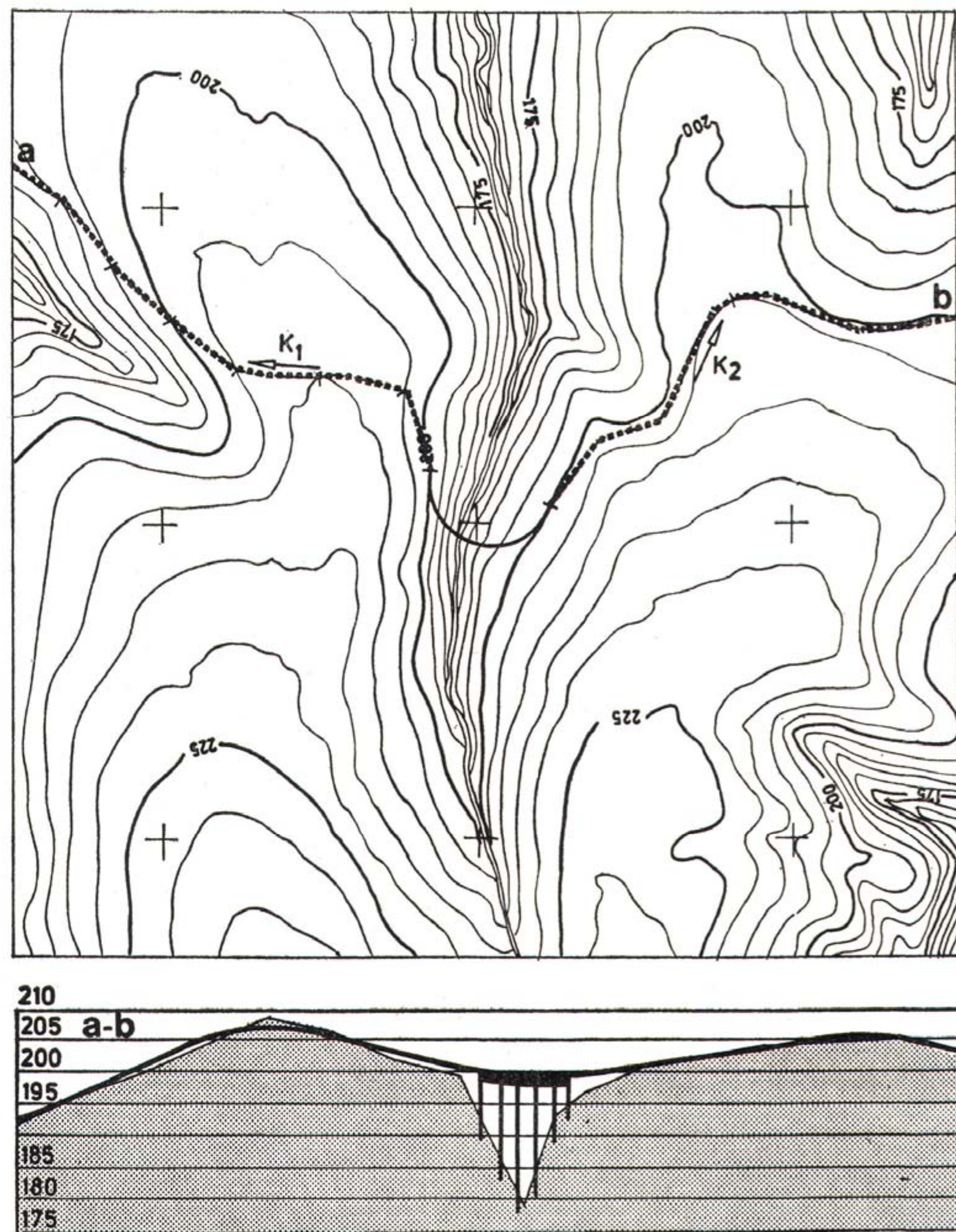
за сложене земљишне облике треба одредити позиције секундарних фиксних тачака на којима се врши прекид нулте линије



Прелаз преко брдског превоја

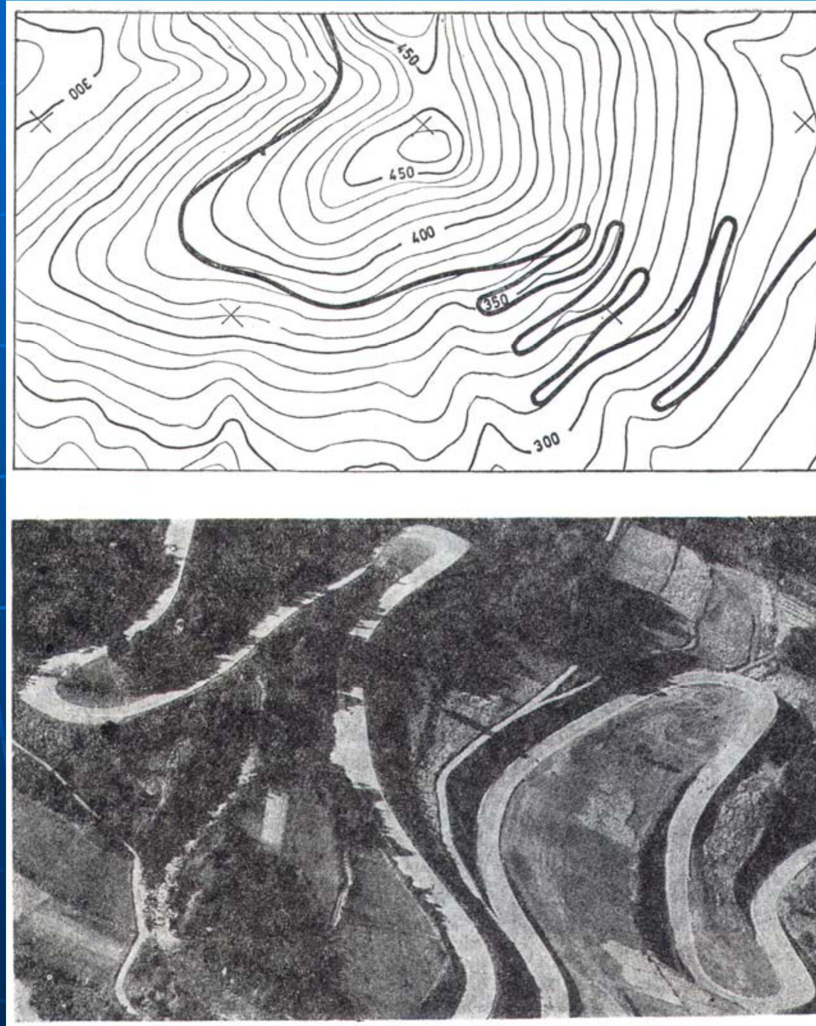


Прелаз гребена



Прелаз изражене бочне долине

фиксне тачке код серпентинских окретница су на локацијама главних окретница и нулта линија се независно развија на сваком краку серпентине

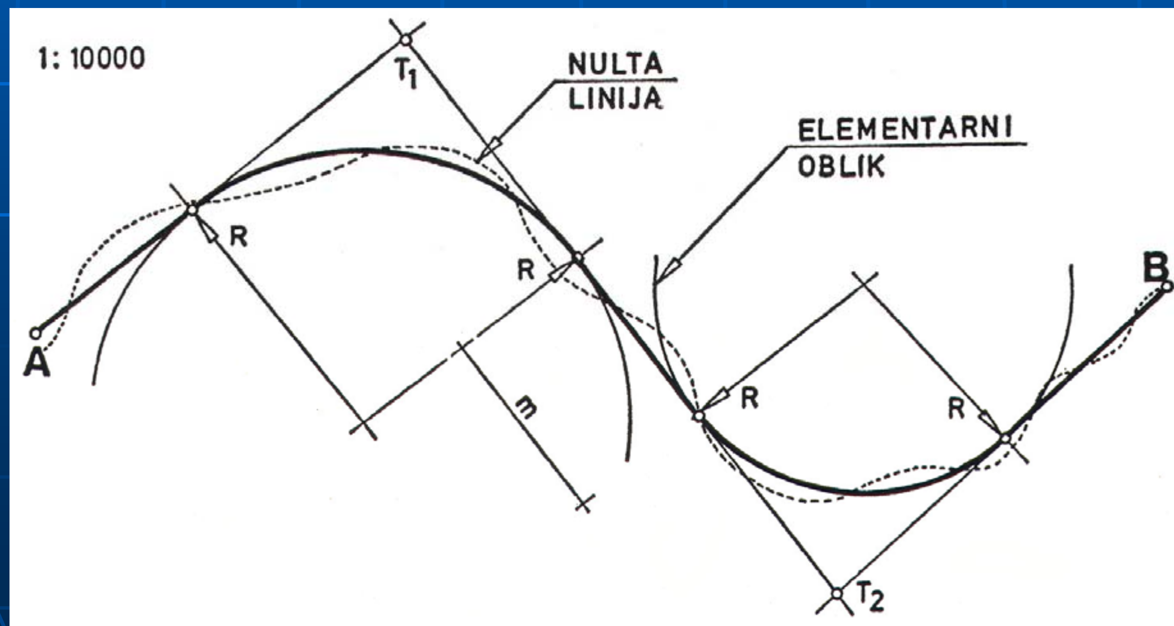


Серпентински развој трасе

када се не може формирати нулта линија, прва апроксимација се ради на основу ограничења у плану и профилу уз поштовање функционалног обликовања

геометризација нулте линије помоћу праваца и кривина

- правци-кружни лукови (класичан поступак, размере 1:10.000 и 1:25.000) апроксимација кружним луковима који се спајају тангентним правцима



Пројектна осовина састављена од правца и кружних кривина

нулта линија осцилира око изабраног кружног лука-уједначен биланс маса

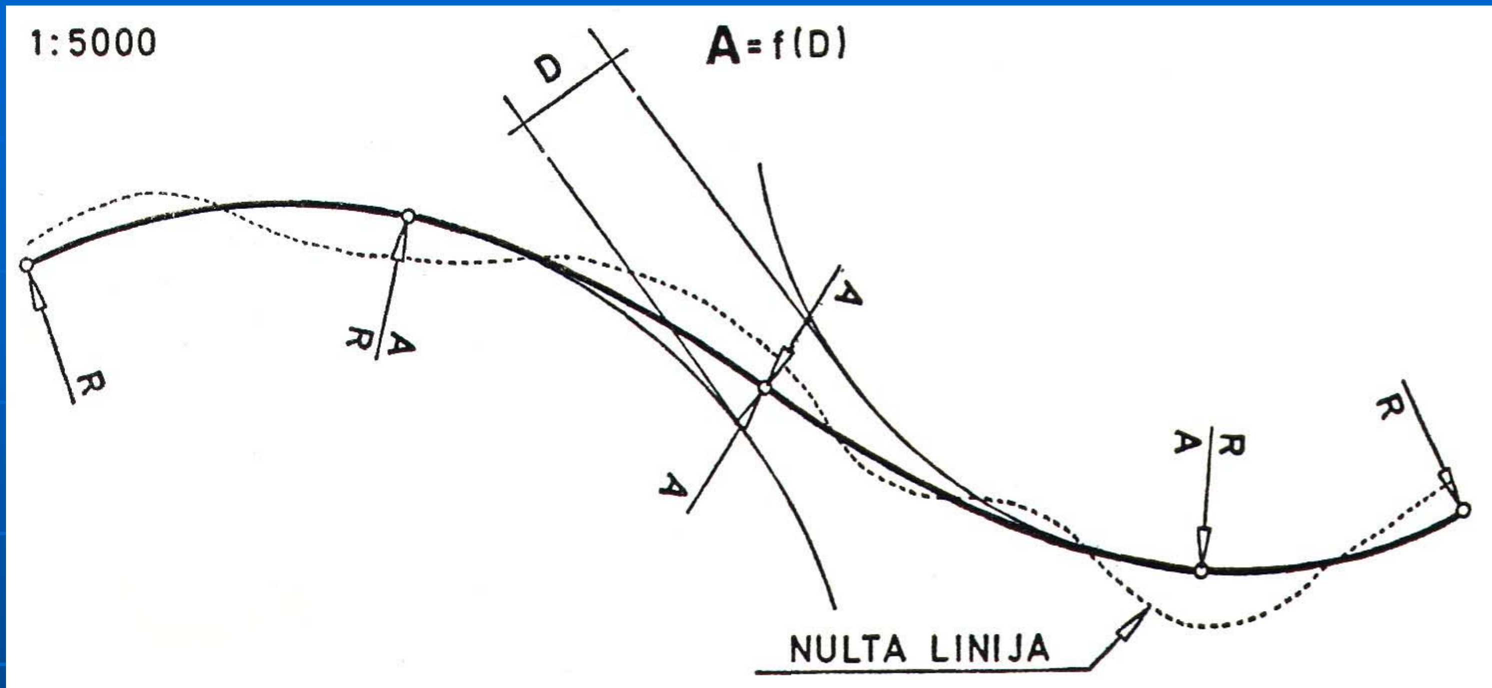
дефинисање темена полигона трасе и графичко утврђивање елементарних тачака (почетак и крај кривине)

дужина међуправца (100-250 m) за смештај прелазних кривина

графичко стационирање на хектометерском растојању

- клотоида (размере 1:1.000 - 1:5.000) почетна апроксимација кружним луковима, а затим одређивање параметара клотоиде-клотидни лењири

савременији поступак са могућим сагледавањем коначног облика трасе и провером интерне усклађености елемената



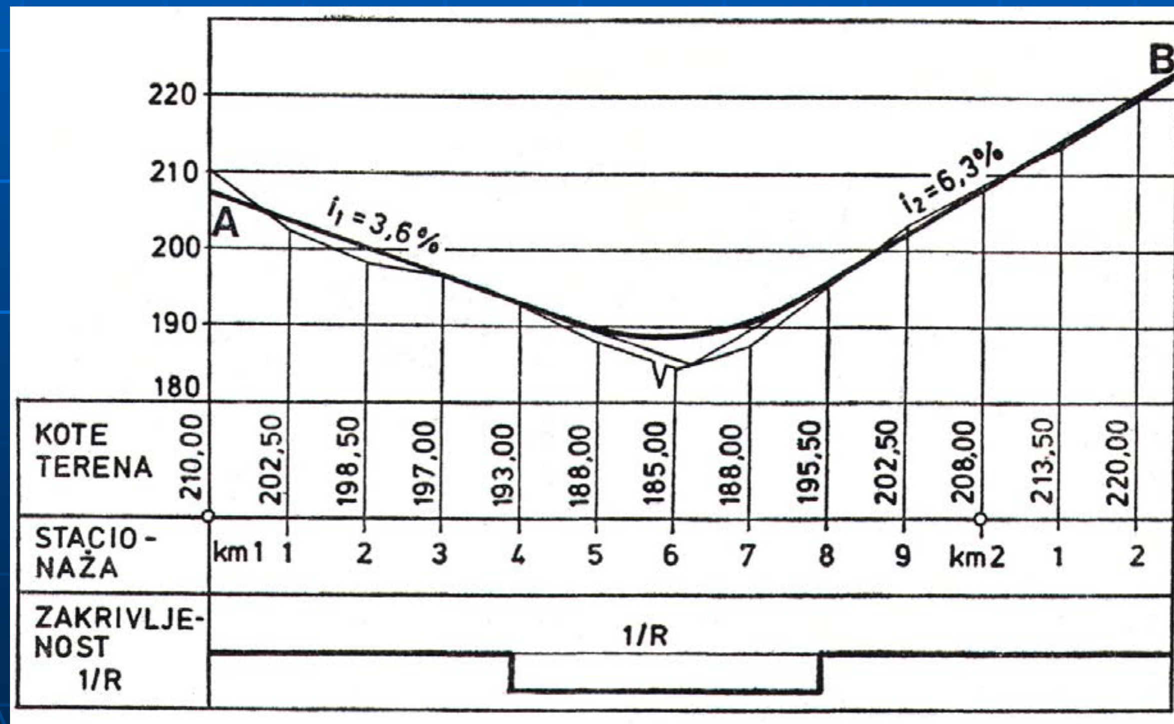
Пројектна осовина конструисана директном применом клотоиде

- крива шипка (размере 1:1.000 - 1:2.500) полагање трасе у подручјима са фиксним ограничењима

траса се претходно скицира слободном руком, а затим геометризује кривом шипком

подужни профил се формира симултано са геометризацијом нулте линије како би се правовремено утицало на услађење односа две пројекције

трасa се геометризује правцима и кривинама након дефинисања висинских ограничења и специфичних захтева околине

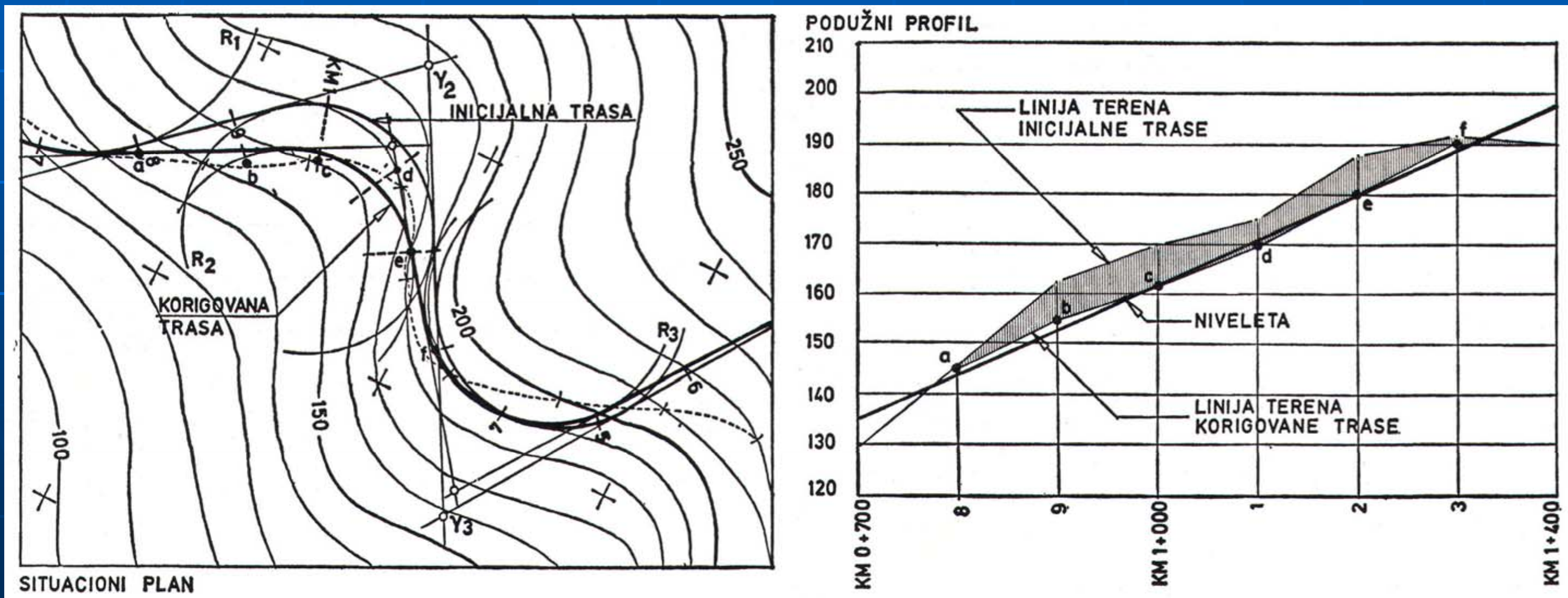


Радни подужни профил

једновремено сагледавање обе пројекције-корекције по питању делимичног побољшања геометрије, већих интервенција или напуштање трасе

итеративни поступак

фиксирање прелома нивелета и избор радијуса вертикалних кривина

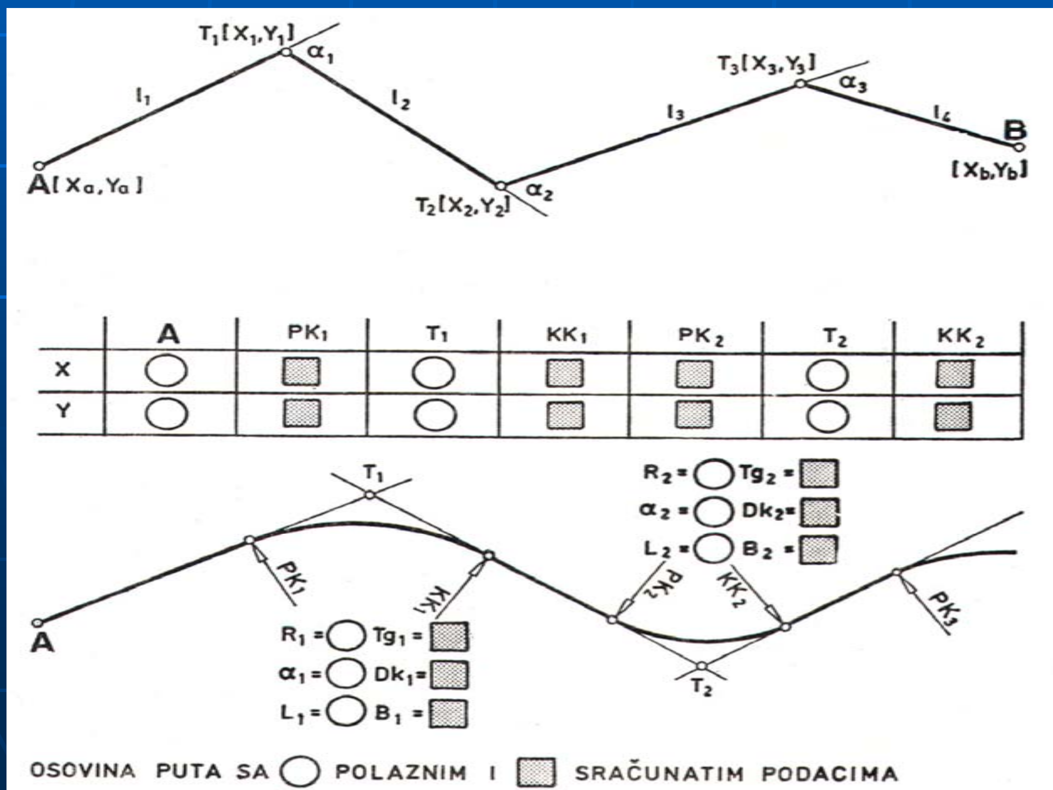


Корекција плана и профила трасе са становишта биланса маса

аналитичка обрада трасе ради утврђивања геометријске законитости основних пројектних линија и однос према конкретном терену (рачунски и графички поступци)

- ситуациони план

координате темена, међутемена растојања, скретни углови, прорачун кривина и стационаже

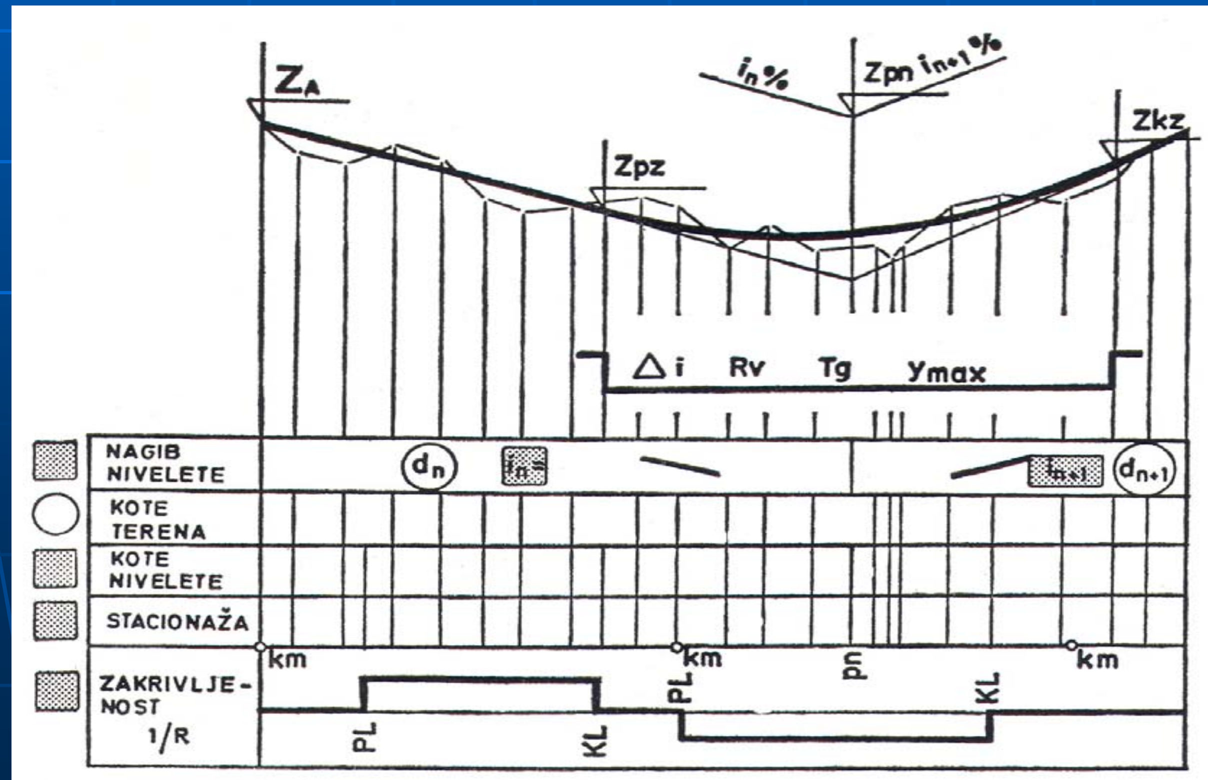


Аналитичка обрада ситуационог плана

- подужни профил

позиције прелома нивелете, дужине деоница једнаког нагиба нивелете, нагиб нивелете заокружен на 0,1 %, прорачун заобљења и кота нивелете

детаљан нивелациони план пута се добија тек након суперпонирања утицаја витоперења коловоза са срачунатим током нивелете



Аналитичка обрада подужног профила

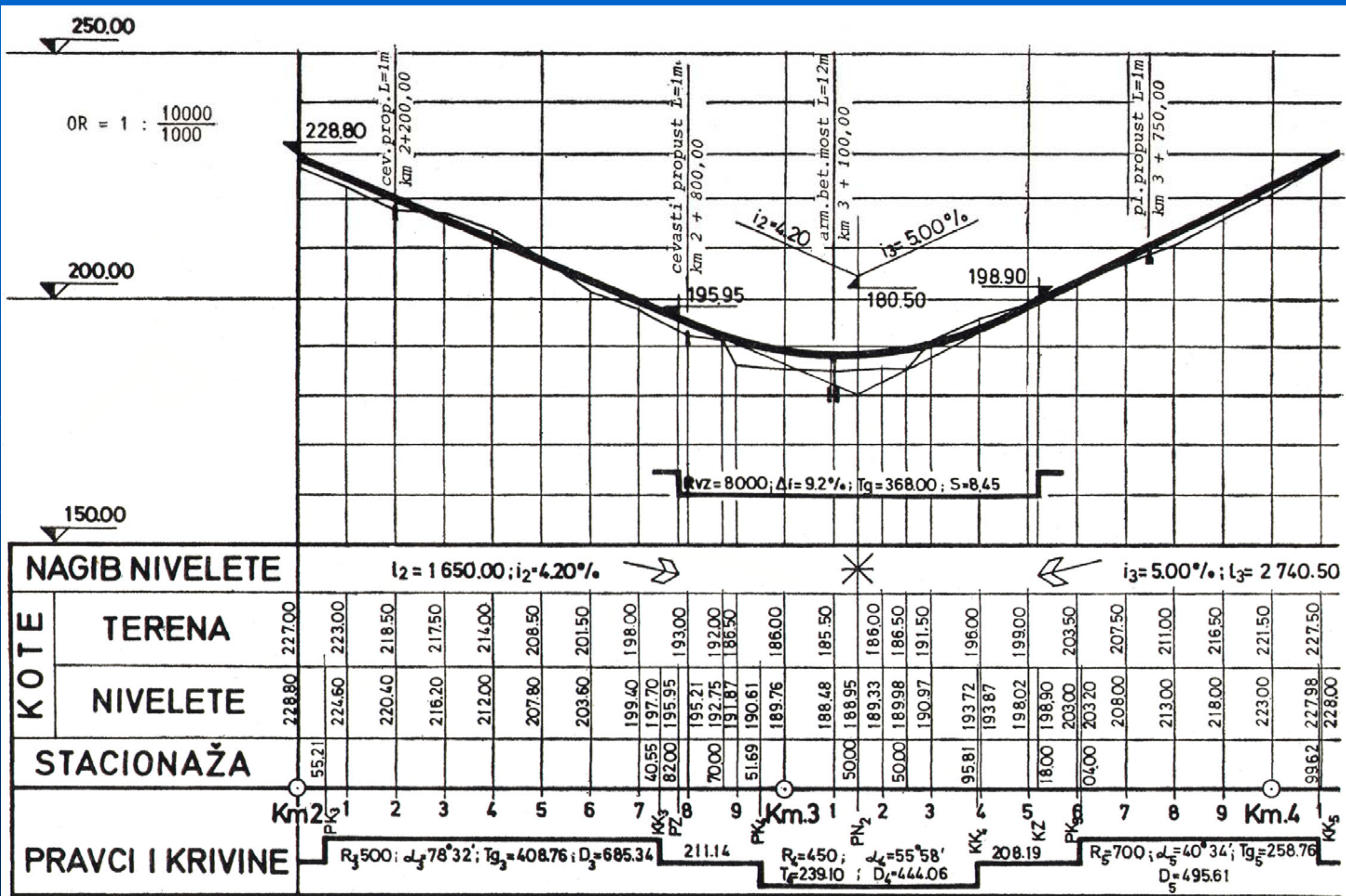
OR 1:10000

R=450
T= 239.10
D= 444.06

R=500
T=408.76
D=683.94

R = 700
T = 258.71
D = 495.61

Ситуациони план трасе пута



Подужни профил трасе пута

- ✓ обликовање пута

  савремено пројектован пут мора да задовољи и ликовне критеријуме (визуелна представа и доживљај пута од стране корисника)

  битно утиче на понашање возача

  трасирање-саобраћајна психологија-теорија информација-техничка кибернетика-перспектива-пејзажна архитектура-...

  истраживање понашања и реакције возача на квалитетно различите визуелне садржаје и перспективних метода-оптимални односи примењених геометријских елемената у трасирању

  општи утицај пратећих елемената и детаља који учествују у формирању ликовне представе пута

- геометријско обликовање

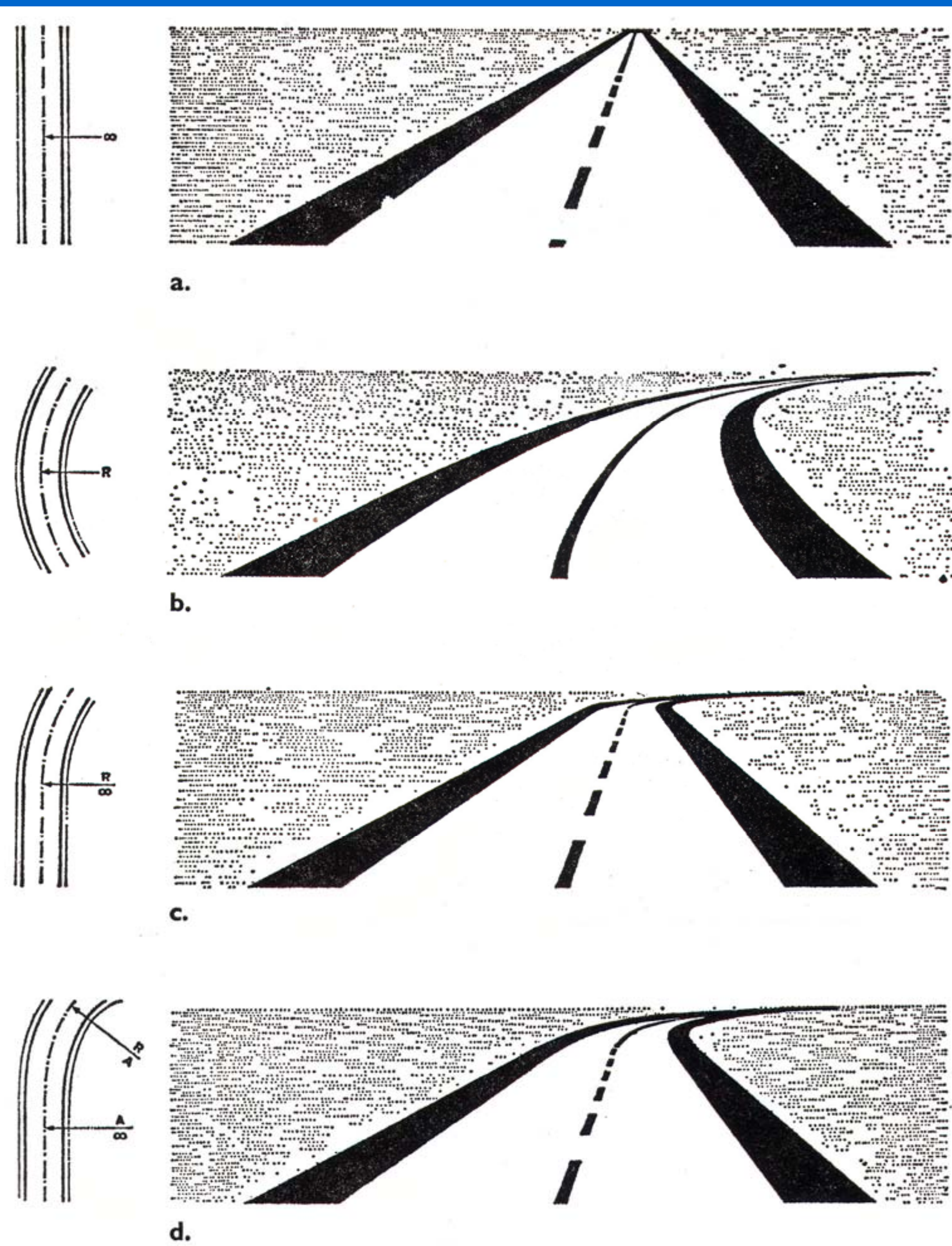
процес складног компоновања пројектних елемената са циљем да се оствари просторна слика пута која у визуелном погледу оставља позитивне утиске и пружа осећање сигурности

мора се водити рачуна о оптичким својствима сваког пројектног облика и геометријским комбинацијама

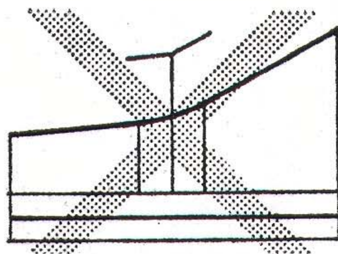
правац има особину недогледа (погрешна процена, неодговарајућа реакција, монотонија), само помоћни елемент

кружни лук има ликовне квалитете, треба обезбедити дужину довољну за схватање степена закривљености (минимално 2-5 s вожње, максимално схватљива визура прегледности $1,4 \cdot V_p \leq D_k \leq 7 \cdot V_p$)

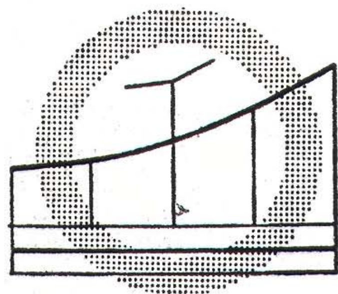
- клотоида има најповољније оптичке ефекте, прићи примени не са позиције минималних конструктивних потреба, већ са гледишта путне естетике (најповољнији ликовни односи за $L_p:D_k:L_p=1:1:1$ са $R/3 \leq A \leq R$)
- нагиби нивелете су неуочљиви испод 3 %, нагиби већи од 4 % могу бити непријатни ако се примењују на дугом правцу (код успона се јавља ефекат зида), решење се тражи у вијугавости трасе
- вертикалне кривине делују природно само ако имају одговарајућу дужину (заобљења малих радијуса или мале оштрине угла на кратким потезима делују као насилни преломи), мера оптичке удобности је дужина вертикалне кривине у границама изоштрене визуре прегледности $D_v \sim 3\text{-}4 \cdot V_p$



Оптички ефекти које стварају елементарни путни облици у хоризонталној равни (правац, кружни лук, правац и кружна кривина, клотоида)









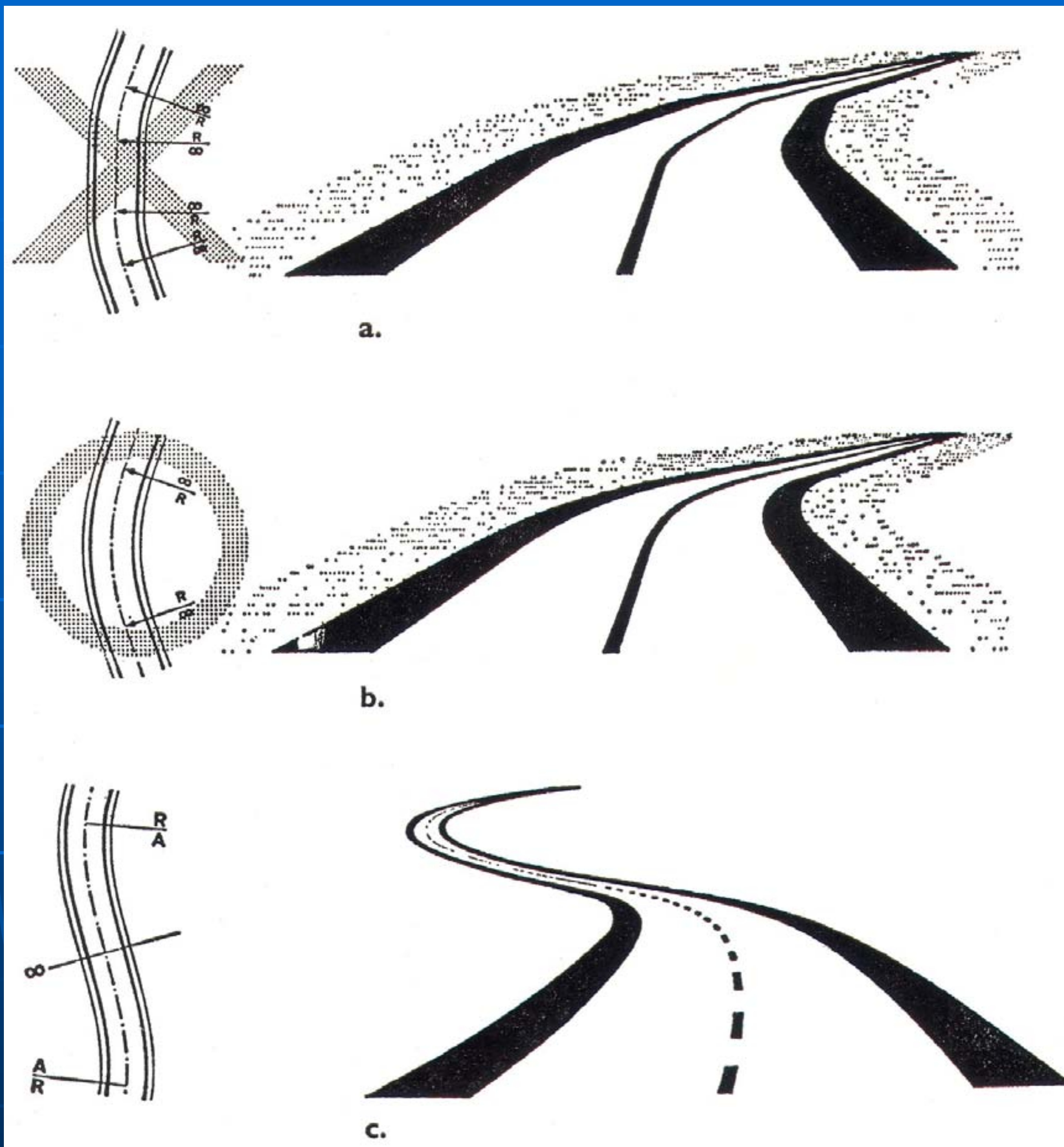
Визуелни доживљај конкавне кривине

(R_v=5.000 m, D_v =150 m и R_v=10.000 m, D_v=300 m)

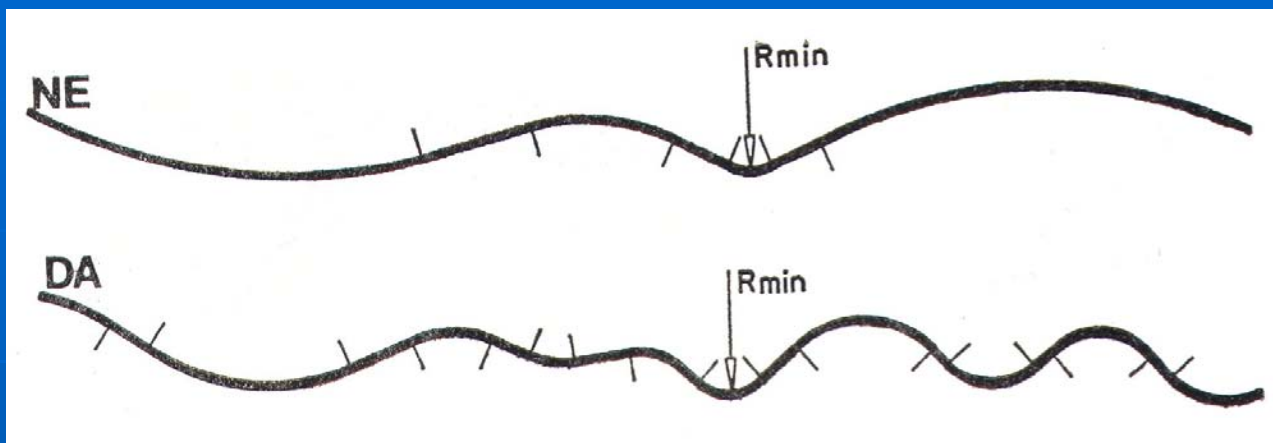
истосмерне кривине са кратким међуправцем стварају утисак полигоналне осовине (подстицај тражењу континуалне путање која одступа од пројектоване трајекторије, физиолошки неповољно због узастопних истосмерних промена радијалног убрзања), избећи применом једне кривине већег радијуса или јајастом кривом

неоправдана је примена контра кривине са кратким међуправцем, решава се применом S криве истог или различитог параметра, правац само као везни елемент ограничене дужине

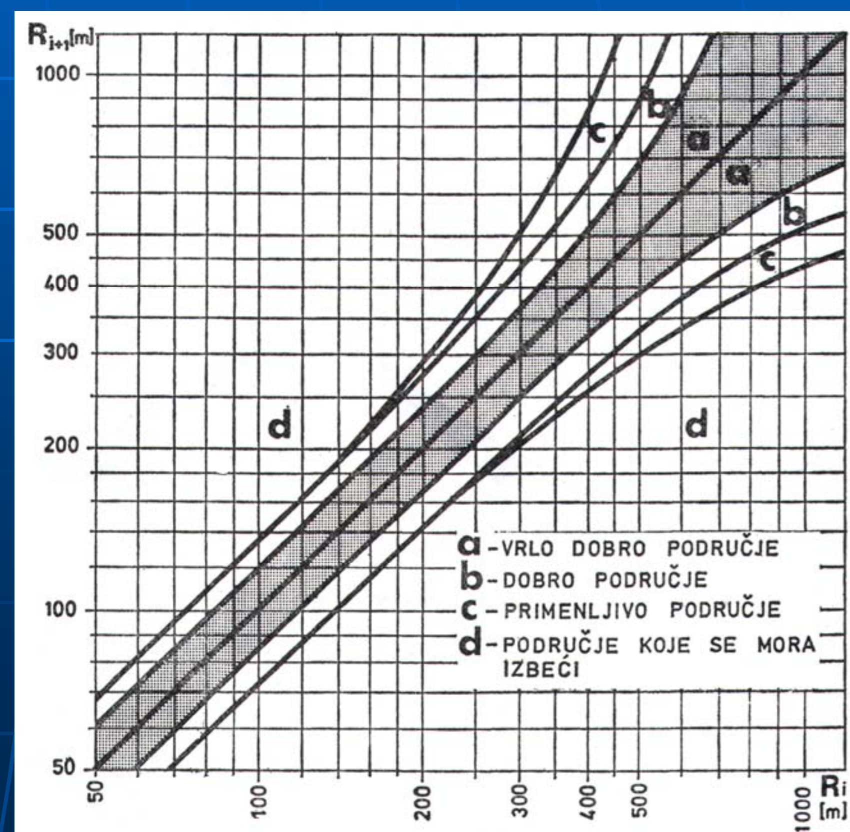
неусаглашени радијуси стварају негативне ликовне ефекте и нарушавају поступност у промени брзине, нарочито осетљиво за кривине са $R<400$ m (толерантни односи до границе $R_i \leq 1{,}5 \cdot R_{i+1}$)



Континуитет кривинских облика као услов за хармоничан ток трасе у ситуационом плану (две истосмерне кривине са кратким међуправцем, континуална кривина већег радијуса, континуална S кривина)

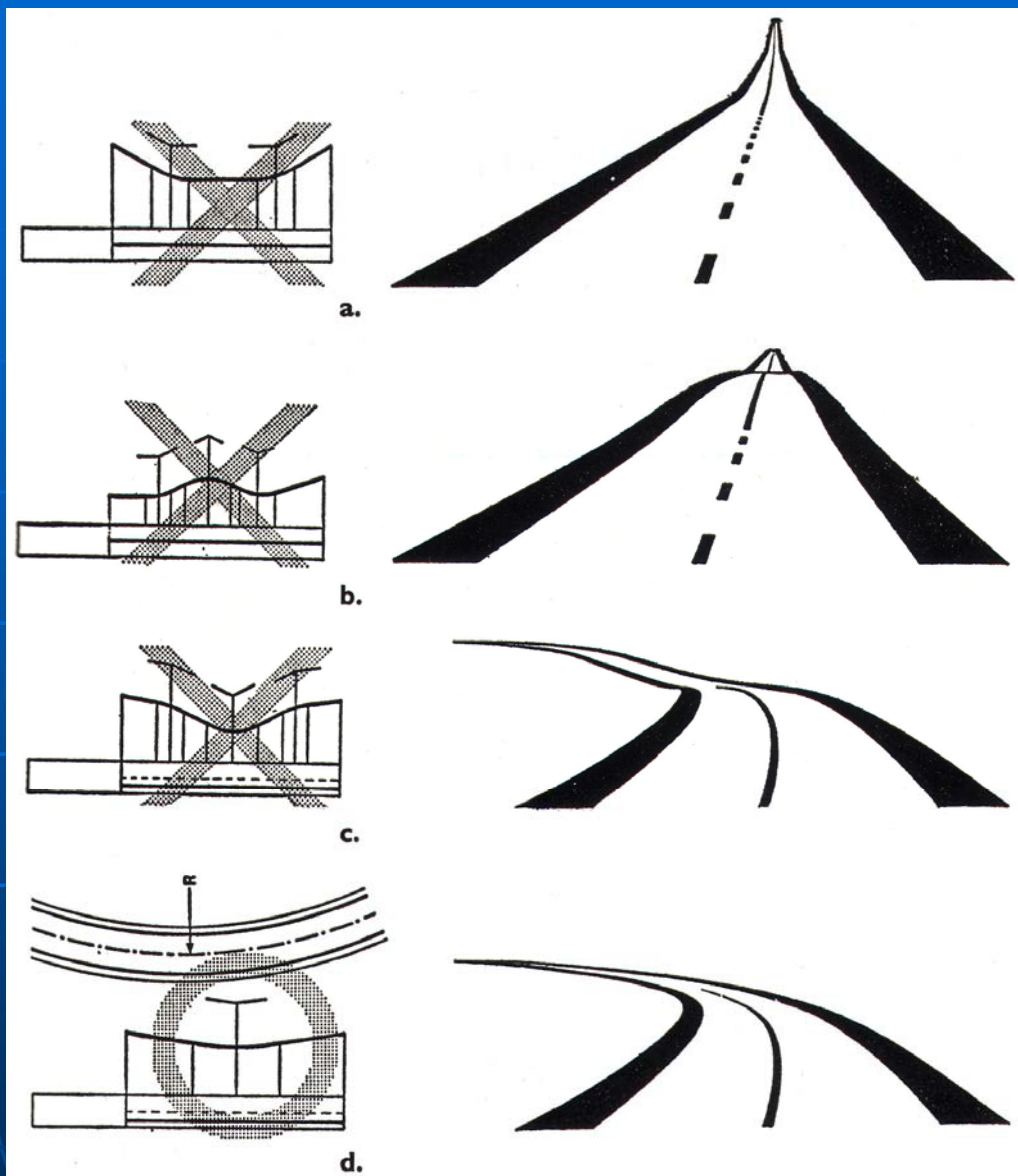


Трасе са неусклађеним и усклађеним радијусима



Препоруке за избор кореснодентних радијуса хоризонталних кривина

- конкавна вертикална кривина је ликовно осетљивија од конвексне кривине (отвара пут), кратку конкаву или кратак међуправац између две конкаве треба заменити једном конкавом великог радијуса
- ако се нивелета стриктно повија по терену може доћи до губитка трасе у видном пољу возача, слично је и када се два приближно паралелена нагиба споје кратким потезом, кориговати нивелету на дужем одсеку трасе укрупњавањем потеза нивелете



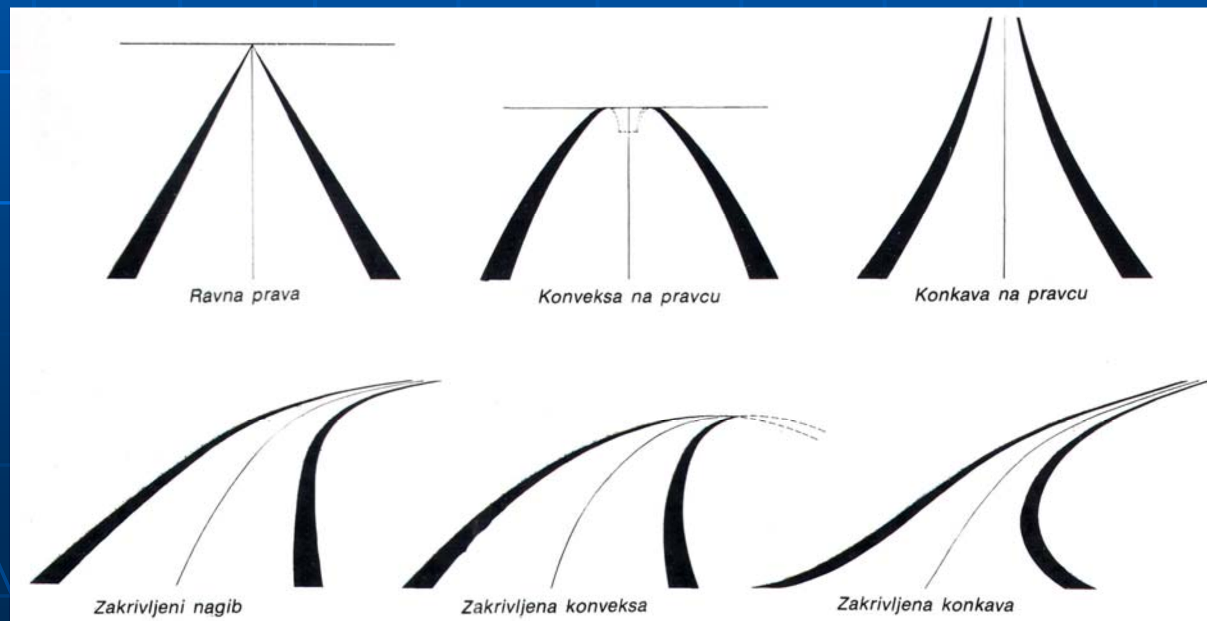
Оптички ефекти из односа у подужном профилу
(две конкаве на блиском растојању, губитак трасе, прилагођавање нивелете терену, велика вертикална кривина)

просторну слику пута формирају удружене пројекције (попречни профил-ситуациони план-подужни профил)

интерна координација елемената ситуационог плана мора се вршити уз истовремено сагледавање утицаја вертикалне пројекције и обрнуто

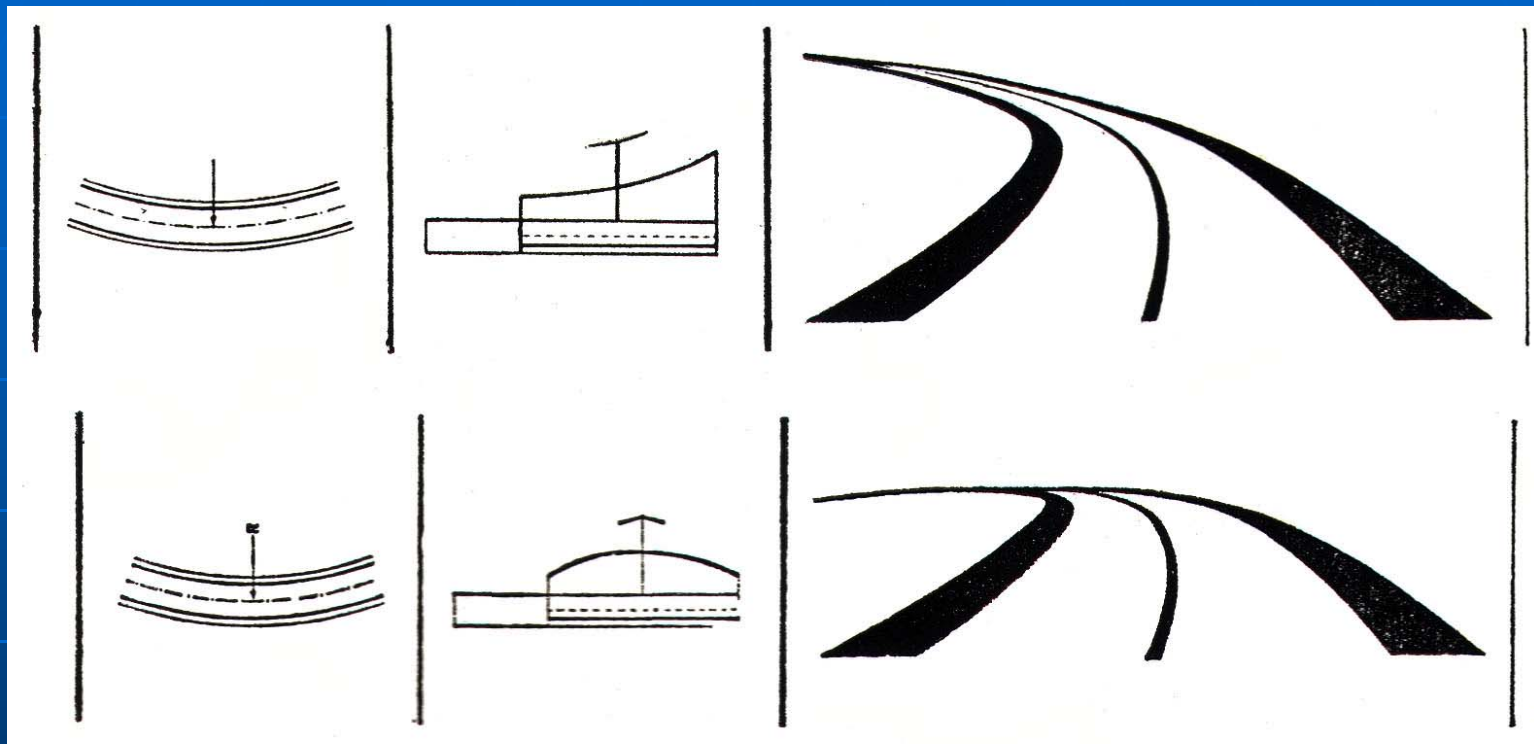
једнолика нивелета-ситуациони план и путни појас обликују слуку пута

остале околности-вертикалне кривине су пресудне

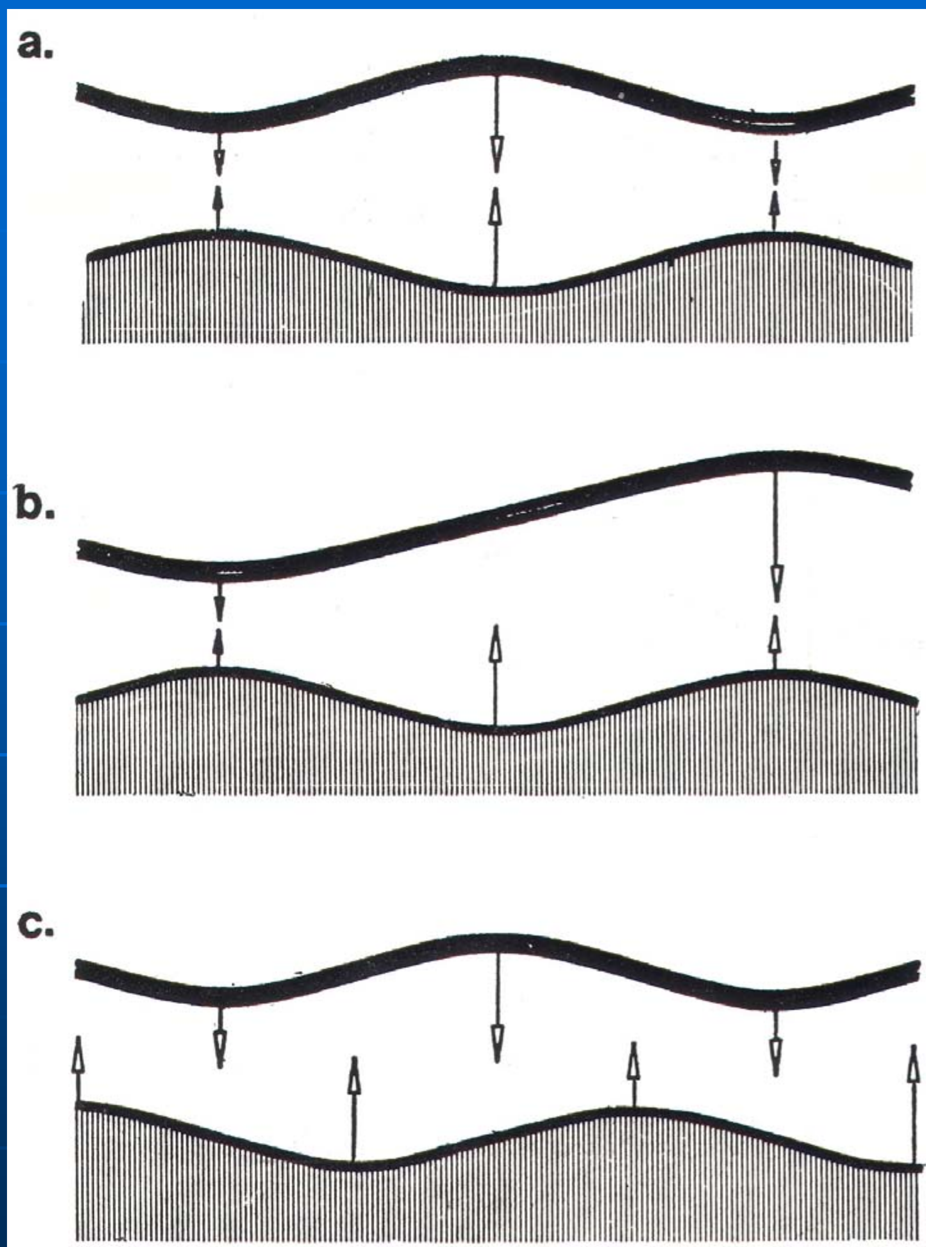


Шест основних облика просторног вођења трасе

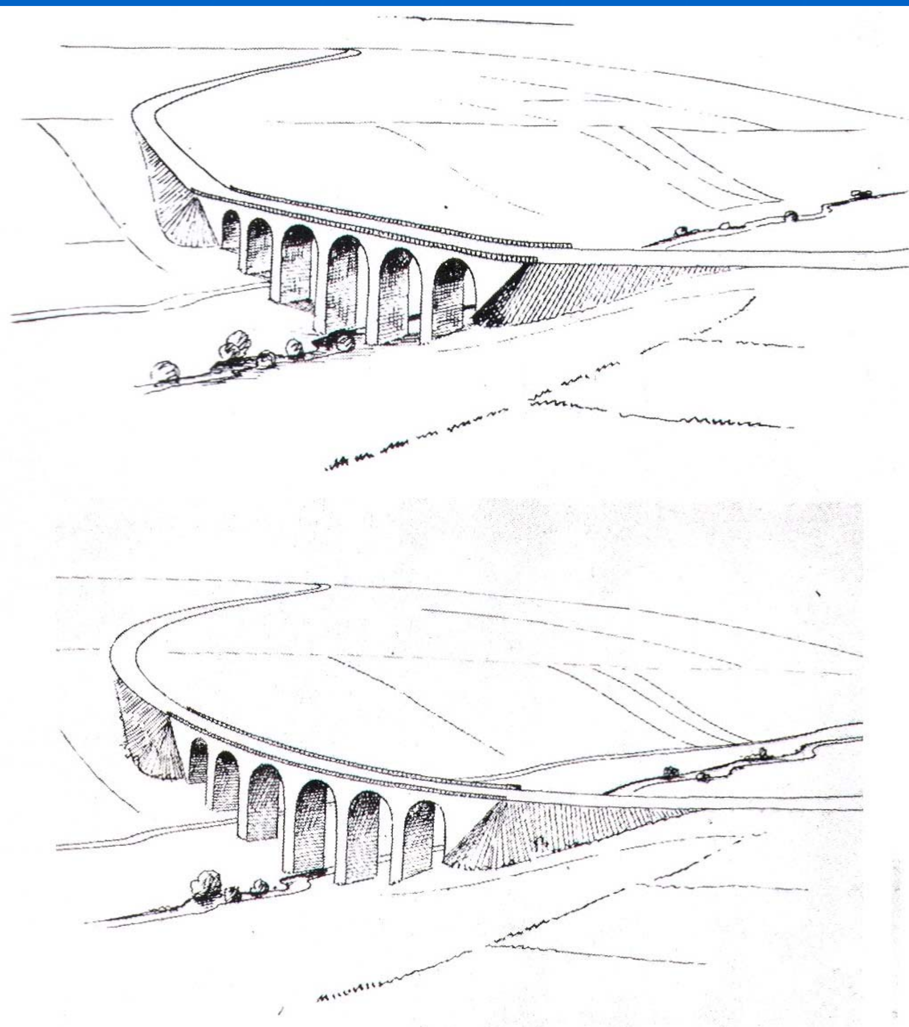
- за трасе са континуалним кривинским облицима у ситуационом плану једино исправно место за прелом нивелете је у средишту кружне кривине (конкава отвара просторну прегледност кривине, хоризонтална кривина ублажава просторну несагледљивост конвексе), заобљења прелома треба обавити радијусима која дају довољне дужине вертикалних кривина и хоризонтална кривина не сме садржати више од једног прелома нивелете
- преломи нивелете у правцу се морају преиспитати са гледишта утицаја сагледљивости хоризонталних кривина (за конвексе крај заобљења и почетак хоризонталне кривине треба да буду на растојању $L \geq 2 \cdot V_p$ [m], за конкаве утицај заобљења не треба да се пренесе у прелазну кривину)



Прелом нивелете у средишту кружног лука



Просторно усклађење путних пројекција
(задовољавајуће, коректно и незадовољавајуће решење)



Прелаз долине појединачним елементима и јединственим током

Траса преко грбина и увала са више прелома и повољнији ток

- јединство пута и околине

садржаји из непосредне околине пута утичу на општу представу о путу (емосионално стање возача, понашање у вожњи, доживљај ширг круга посматрача)

обликовати путни појас и пратеће објекте да се оствари јединство пута и околине

креативни напор пројектанта

Препоруке за обликовање косина:

мањим висинама трупа одговарају блажи нагиби

најприродније су трасе са косинама једнаких дужина, а не нагиба

несиметрични нагиби косина и кривинама (унутрашња страна блажа, спољашња оштрија)

код плитких насипа и усека за падинске трасе проширити планум са ниже стране до природне косине терена

Препоруке за озелењавање:

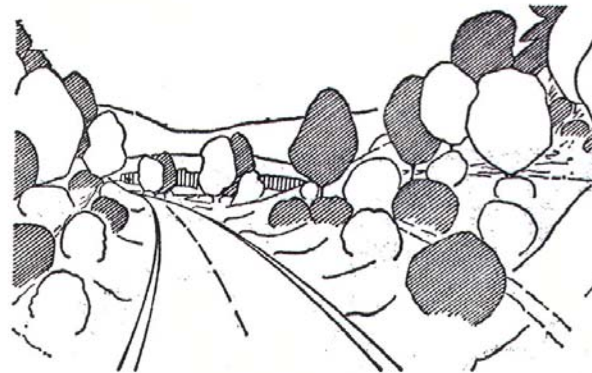
успоставити физичку и ликовну равнотежу природне средине поремећене насилним захватима на терену

створити визуелне доминанте планским распоредом високог зеленила-оптичко вођење

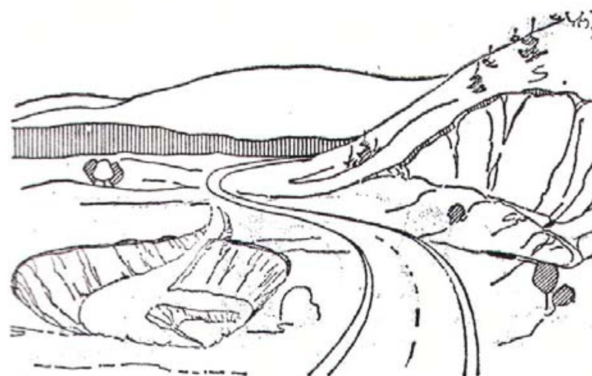
природно средство заштите од заслепљивања, за ублажавање удара ветра, смањење нивоа буке и сл.

упоредо са грађевинским пројектом радити и пројекат озелењавања (пројектант сагледава потребу и дефинише просторне елементе, дендролог проучава природне услове и изабира средства)

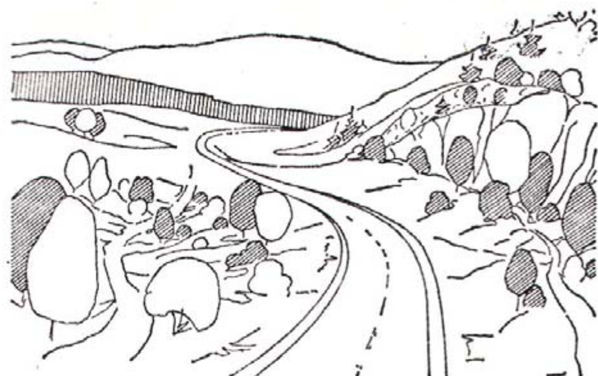
a. U dubokim usecima i nasipima strogo geometrizovane kosine ne deluju prirodno, čak i ako su zatravljene. Ovaj utisak bitno se poboljšava visokim zasadima u slobodnom aranžmanu.



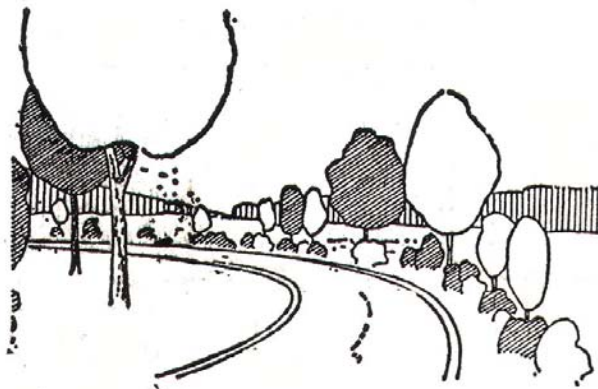
b. Građenje puta često se stvaraju trajni ožiljci na terenu. Pored neprikladnog prizora, ovakva mesta mogu biti i uzrok novih geoloških procesa.



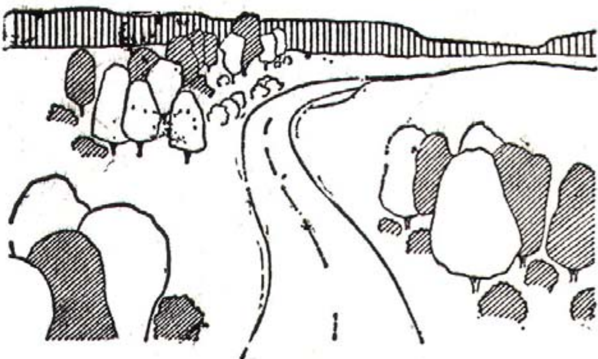
c. Remodeliranjem nekadašnjih izvorišta materijala uspostavlja se prirodni sklad. Po pravilu, ovakve intervencije zahtevaju svest i volju da se prirodi vrati oduzeto.



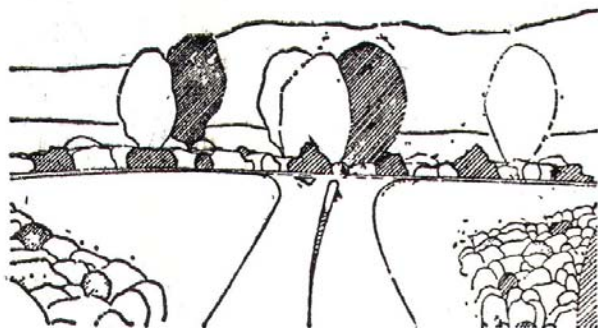
Успостављање физичке и ликовне равнотеже



a. Visoko zelenilo, planski sađeno sa spoljašnje strane, optički „otvara krivinu". Po konturama zelenog masiva iz daleka se može proceniti zakrivljenost i dužina krivine.



b. Kod povijenih trasa zelenilo se naizmenično javlja sa jedne i druge strane, ostavljajući međuprostor za šire sagledanje pejzaža.

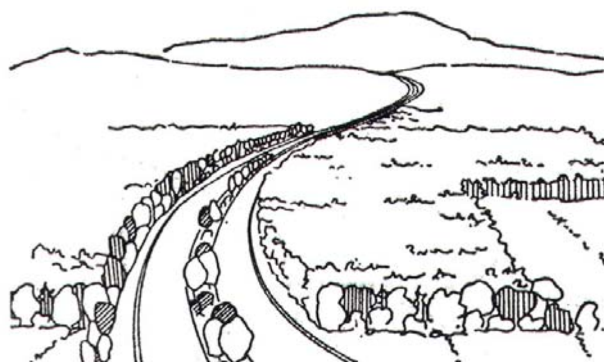


c. Visoko zelenilo u osovini vizure blagovremeno nagoveštava raskrsnicu. Na sličan način se može ocrtati i prostorni tok nesagledljivih odseka puta u konveksnim vertikalnim krivinama.

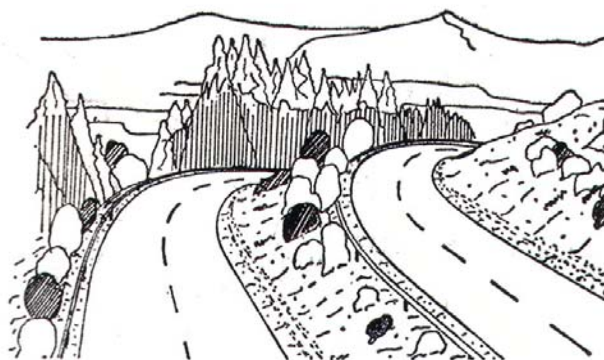
Побољшање оптичког вођења трасе



a. Zelenilo ispred i iza fizičkih koridora sa ustaljenim mikroklimatom (šumski masivi, dugi useci i sl.) može da bude dobar posrednik u prelasku na novi klimatski režim.



b. U prolasku auto-puta kroz šumske predele poželjno je da se zadrži zelenilo u razdelnoj traci. Time se ublažava utisak brutalnog sukoba sa prirodom i eliminiše efekat zasenjivanja farovima u noćnoj vožnji.

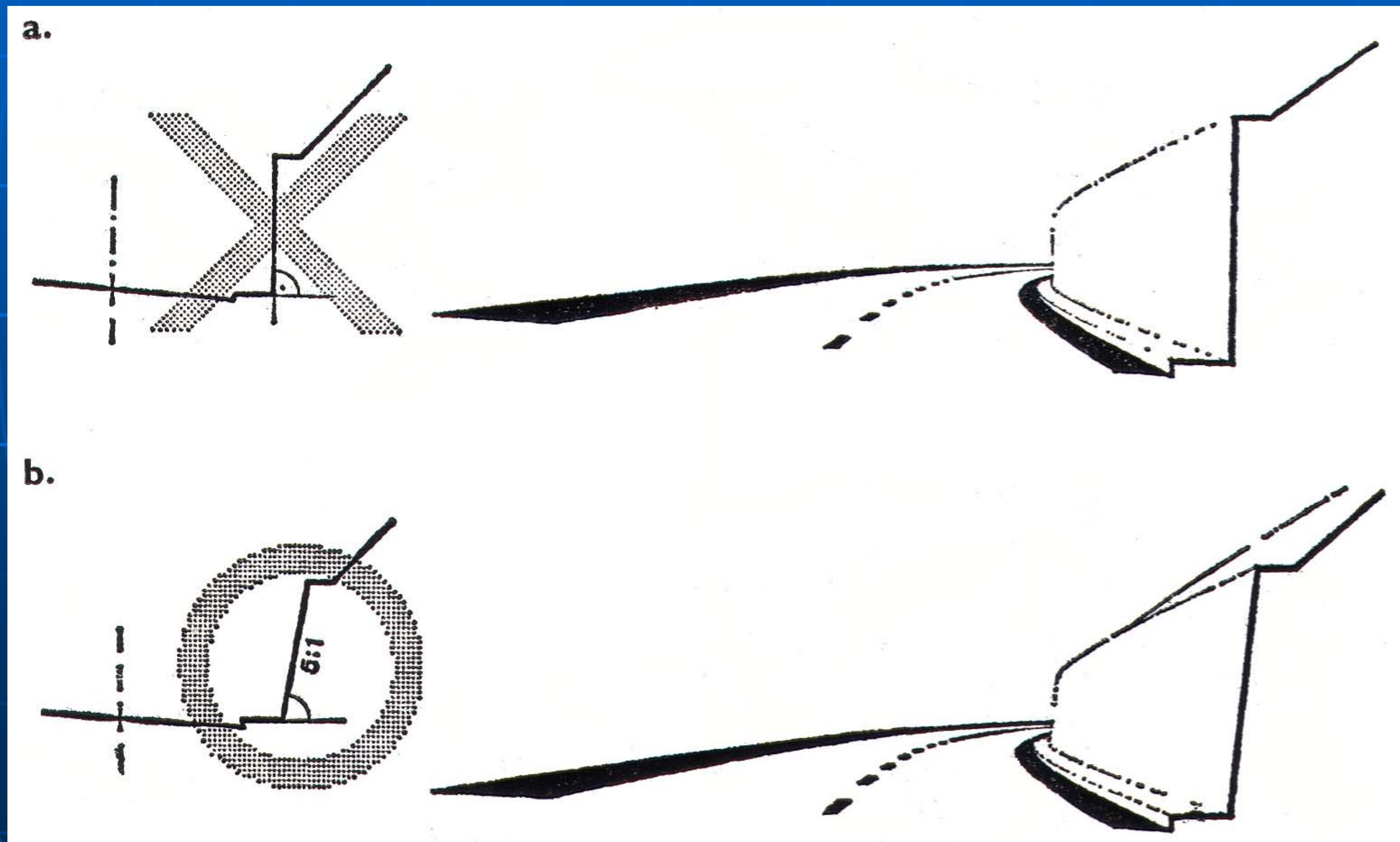


c. Da bi zelenilo moglo uspešno da se razvija u razdelnoj traci, potrebno je da ova bude šira od 6 m.

Заштита саобраћаја од неповољних спољних утицаја

сваки примењени објекат и елемент опреме проучити са становишта просторних облика и изгледа

потпорни зидови-континуалне линије, умерене висине, обрађене видљиве површине, комбинација са зеленилом



Потпорни зид у кривини (астатички утисак и природнији изглед)

мост треба да буде прилагођен току трасе у свим пројекцијама и да поседује унутрашњу хармонију конструктивних облика

не да буде препрека која захтева посебну опрезност, већ ликовни призор складних односа

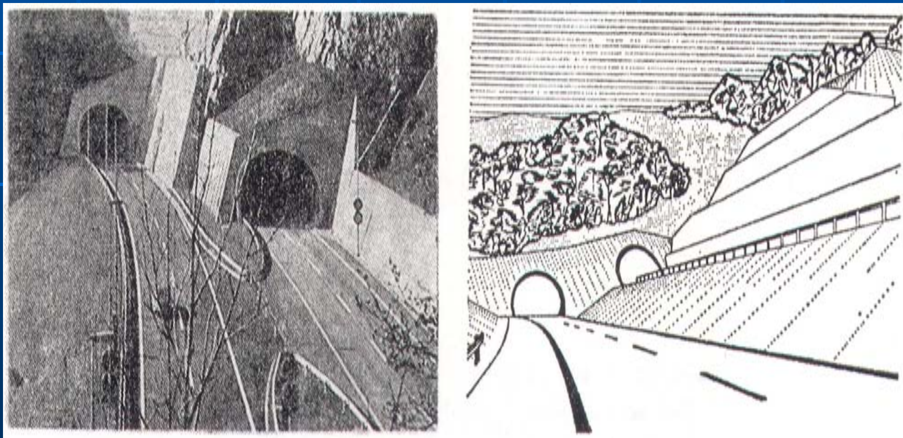
кривински облици који стварају пуну сагледљивост

надвожњаци са максималним светлим отвором



Мост у инфлесионој зони S кривине
са пуном просторном сагледљивошћу

- код тунелских портала превазићи решења из старе железничке праксе грубих облика и масивних порталних зидова и предусека
- саобраћајно-техничка опрема и сигнализација има изузетну улогу у оптичком вођењу на дужинама изоштрене до зауставне визуре прегледности (нарочито за неповољне временске услове и ноћ)



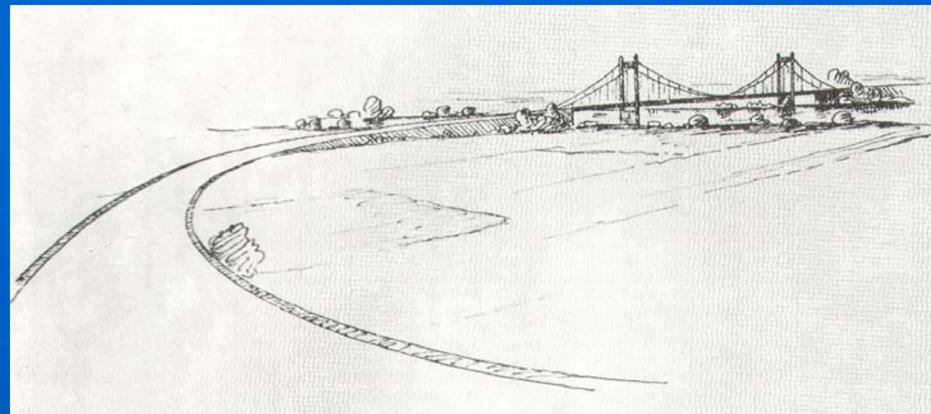
Обликовање тунелских портала (масивно решење и закошена падина)



Континуални елементи опреме пута као водеће линије пута



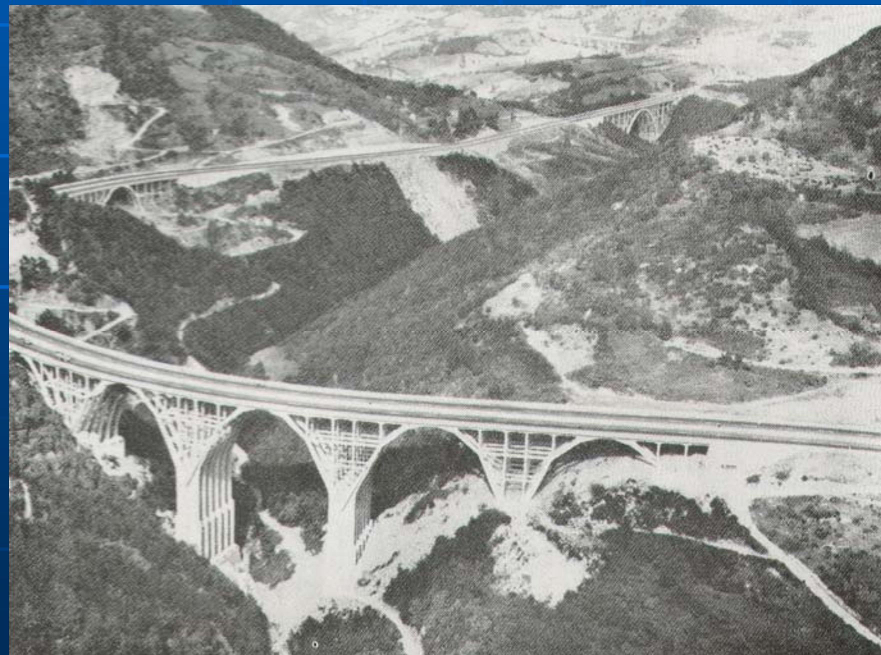
Континуално вођење трасе са премошћавањем реке



Мост са навозом у дугачкој кривини великог радијуса



Мост у кривини (стубови су шупљи без сводова)



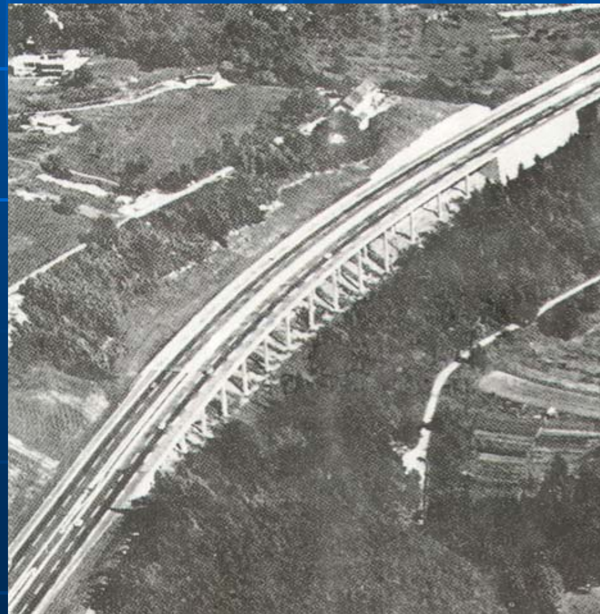
Деоница Болоња-Фиренца на Strada del Sol (претежно мостови и тунели)



“Породица мостова” (аутопут у покрајини Рен, Немачка)



“Породица мостова” на Рајни у Дизелдорфу



Мост који се подужно ослања на потпорни зид



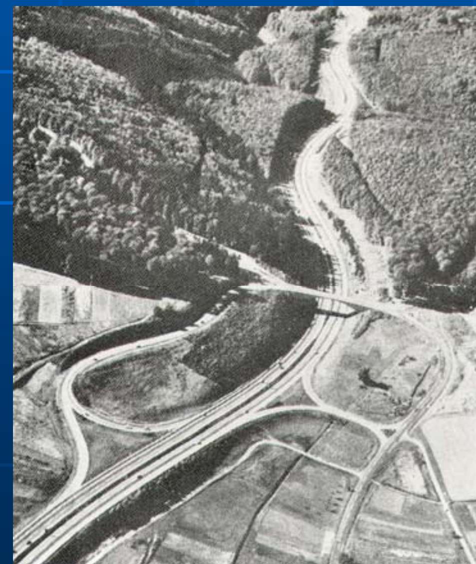
Деоница аутопута Франкфурт-Вирцбург код Вајскирхена



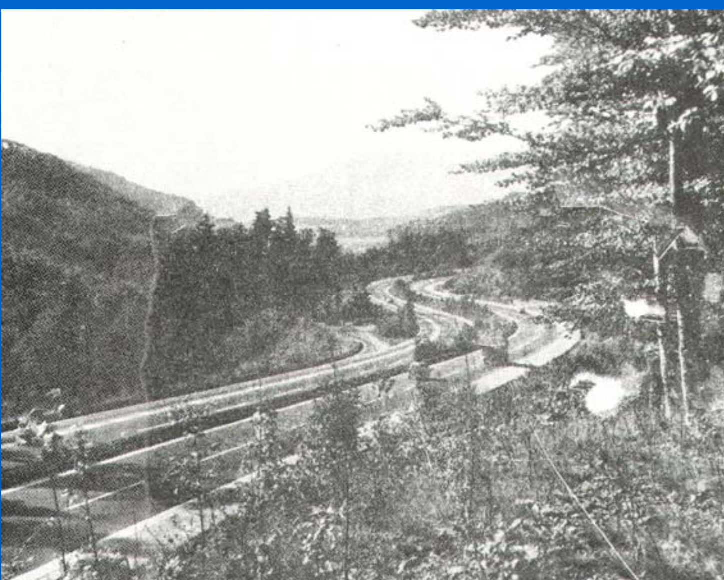
Деоница аутопута Франкфурт-Вирцбург код Хесбаха



Деоница аутопута Франкфурт-Вирцбург код Каупена



Деоница аутопута Франкфурт-Вирцбург код Вајберсбруна



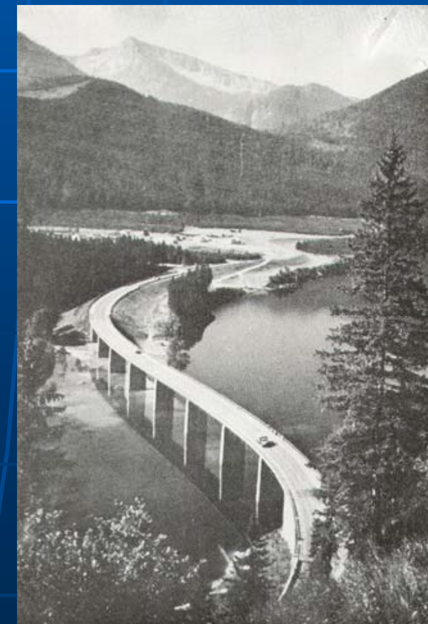
Деоница аутопута Франкфурт-Вирцбург код Спесарта



Деоница аутопута Франкфурт-Вирцбург код Ретерсхајма



Мост Fehmarnsund



Мост Falerklam



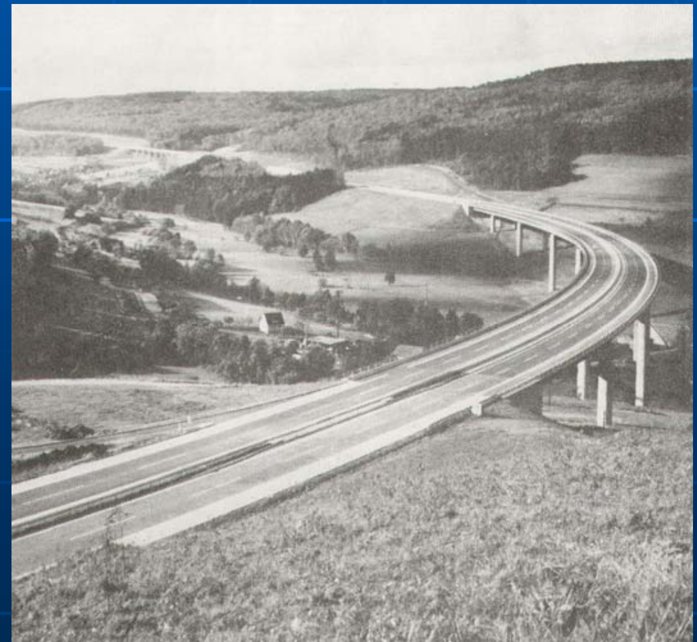
Мост Werra-стари облик



Мост Werra-нови облик



Мост Mintord



Мост Sintal



Успон на брдо Книл



Континуално вођење трасе



Лангенштајнбах-старо стање



Лангенштајнбах-ново стање

Динамичке и геометријске анализе трасе пута

- ✓ објективност процеса одлучивања захтева познавање квантификованих показатеља који илуструју степен пројектних остварења
- ✓ возно-динамичке и геометријске анализе пружају показатеље на којима се темељи итеративни процес тражења оптималног решења у датим спољним условима
- ✓ возно-динамичке анализе подразумевају проучавање кретања моторних возила ради анализе и димензионисања конструктивних елемената плана и профила

анализа кретања појединачних возила (сигурност и удобност вожње, време путовања, потрошња горива)

анализа саобраћајног тока (експлоатациони ефекти по параметрима економичности, капацитета и последица по животну средину)

меродавно за: поређење варијанти према брзини вожње, времену путовања и потрошњи горива, разматрање корекција у плану и профилу, димензионирање елемената пута, утврђивање степена сигурности пута, оптичке анализе, димензионирање саобраћајно-техничке опреме, одлуке о грађењу додатних трака на успонима, избор најповољније маршруте за даљинске транспорте

основни параметар је брзина

суштинска примена током израде идејног пројекта

методе морају бити једноставне и брзе

- анализа пројектне брзине

пројектна брзина није униформна на читавој деоници и мора бити већа или једнака рачунској брзини сагласно примењеним елементима плана и профила

подручје пројектне брзине одговара појму $V_{85\ \%}$ за стандардне услове пута

у ситуационом плану се појединачно анализира за поједине елементе плана

правац (блиско реалним условима вожње у слободном саобраћајном току)

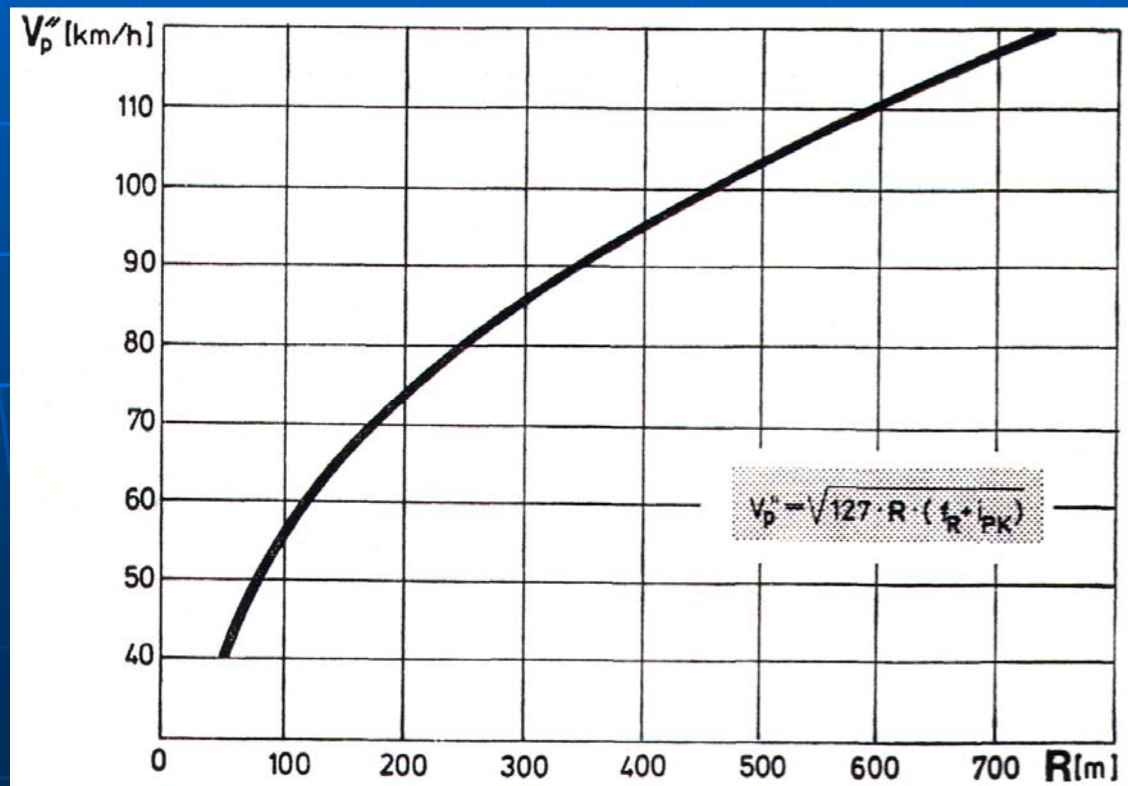
меродавна је већа вредност из два израза

$$V_p' = V_{ri} + 20 \quad [km/h] \quad \text{или}$$

$$V_p' = \max V_r \quad [km/h]$$

кривина (на основу теријске релације са идеализованом трејекторијом вожње, усвојеним граничним вредностима попречног нагиба и радијалног коефицијента трења)

за V_r=120 km/h и R_i>min R усваја се пројектна брзина 120 km/h



Теоријска зависност пројектне брзине од примењеног радијуса

прелазна кривина (променљиво кретање, успорење пре кружне кривине, убрзање после кружне кривине)

почетак убрзања ($+u=a=0{,}5\ m/s^2$) се поклапа са крајем кружне кривине

крај успорења ($-u=d=1{,}0\ m/s^2$) се поклапа са почетком кружне кривине

дужина изоштрене визуре прегледности мора бити већа од дужине променљивог кретања $L_a \geq x_{a-d}$

разлика нивоа брзина (суседних брзина) не би смела да буде већа од 20 km/h

дужина пута убрзања-успорења

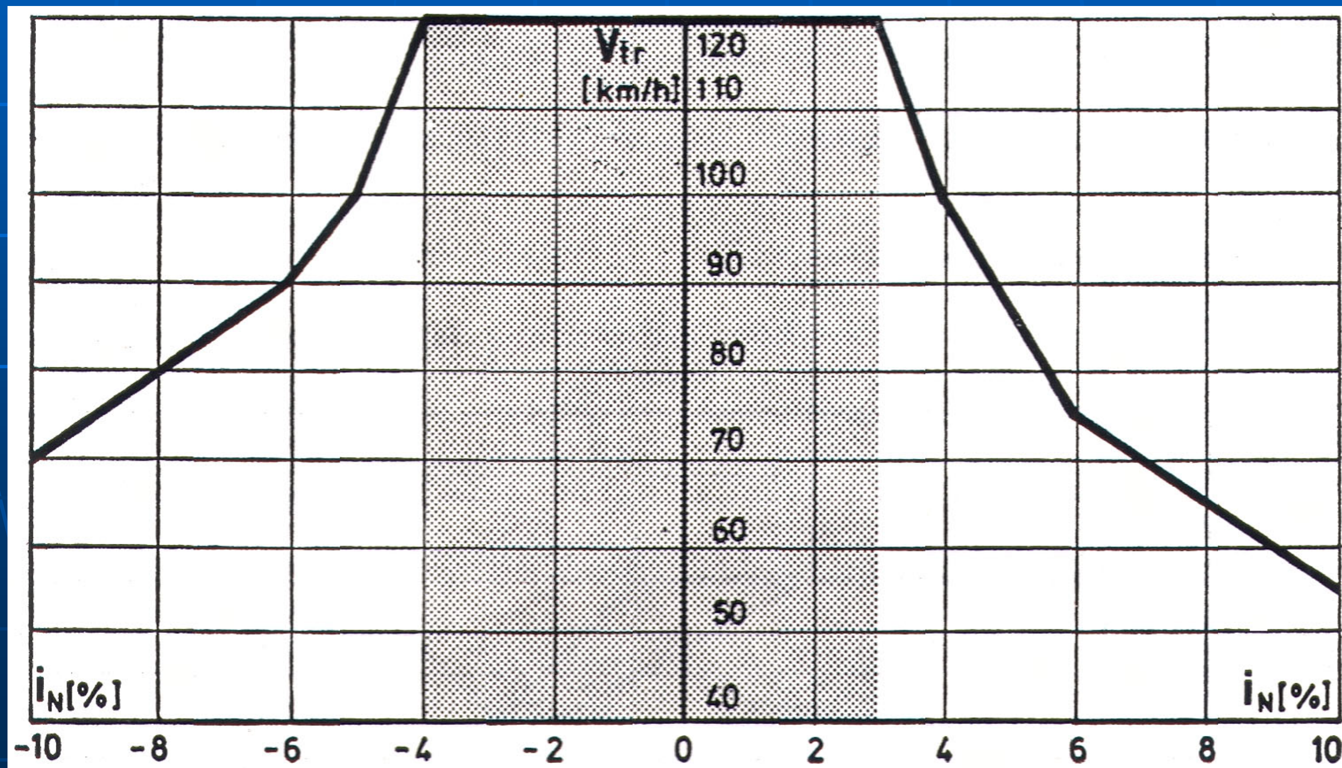
$$x_a = \frac{\Delta V \cdot V_{sr}}{6{,}48} \quad [m] \qquad x_d = \frac{\Delta V \cdot V_{sr}}{12{,}96} \quad [m]$$

$$V_{sr} = \frac{V - V_0}{2} \quad [km/h]$$

у подужном профилу пројектна брзина зависи од примењених вредности подужних нагиба

занемарује се утицај вертикалног заобљења (промена брзине на местима вертикалних прелома)

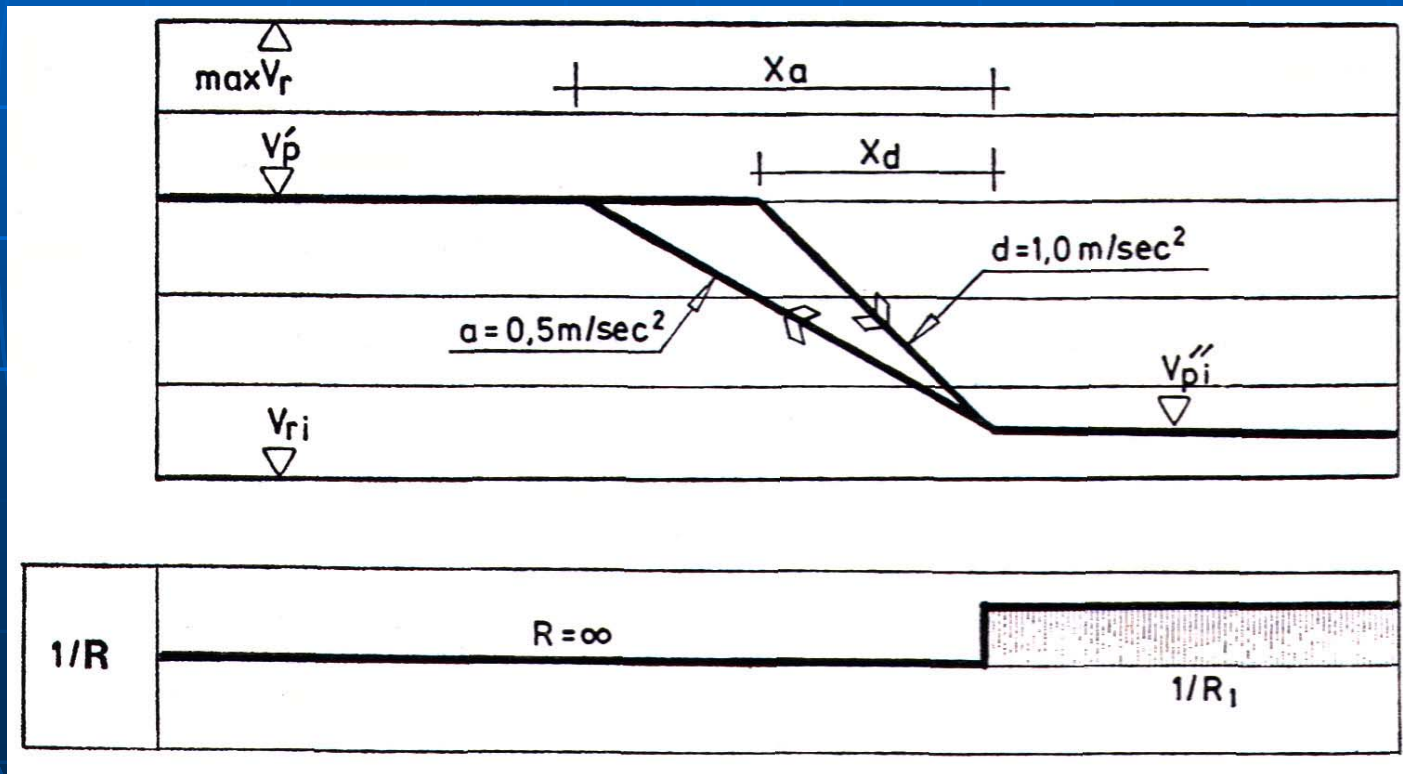
убрзање и успорење се рачунају на исти начин као за елементе ситуационог плана



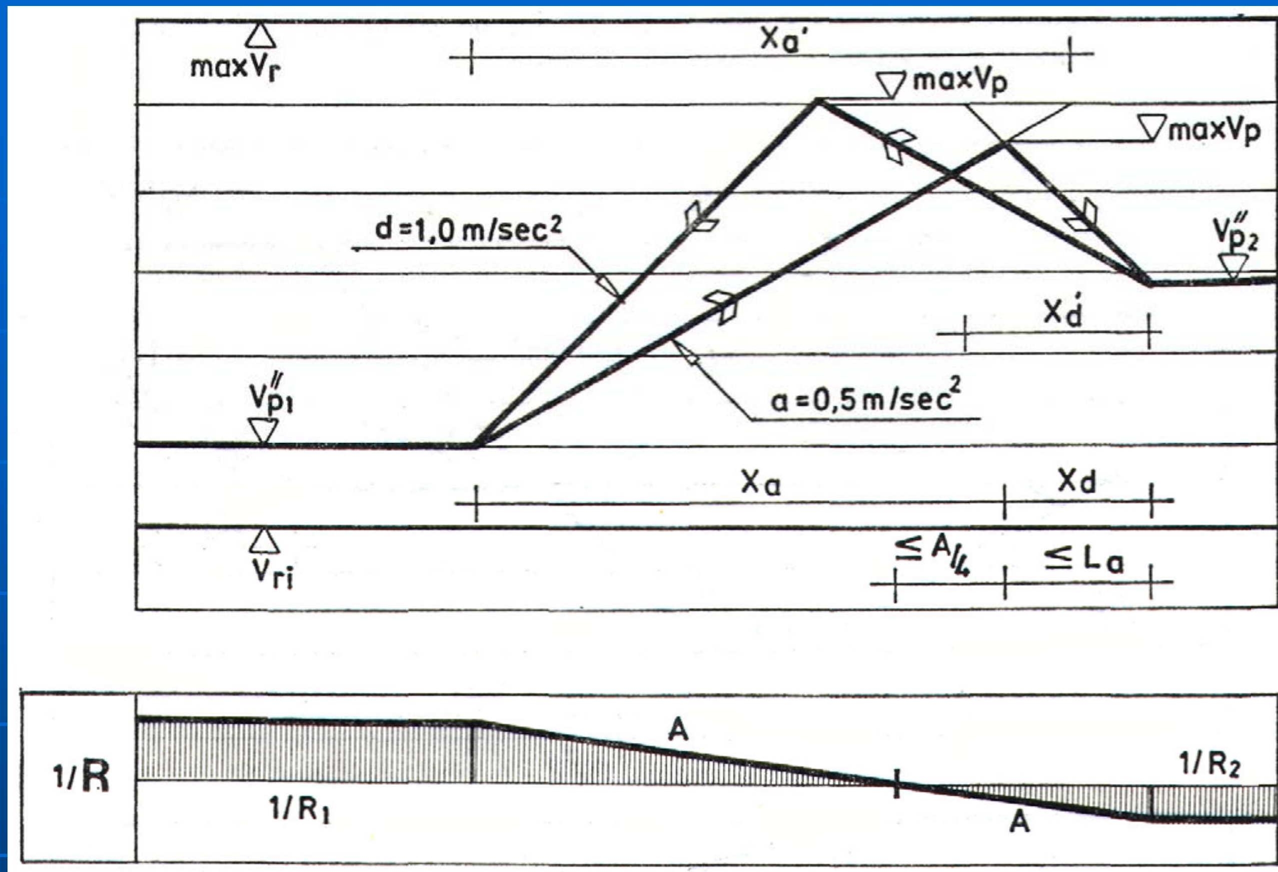
Теоријске вредности трајних брзина на успону и паду

профил пројектне брзине (стационаже елементарних и детаљних тачака, дијаграм закривљености, дијаграм успона и падова, дијаграм зависности брзина-радијус, дијаграм зависности брзина-нагиб нивелете)

конструкција се ради за оба смера вожње



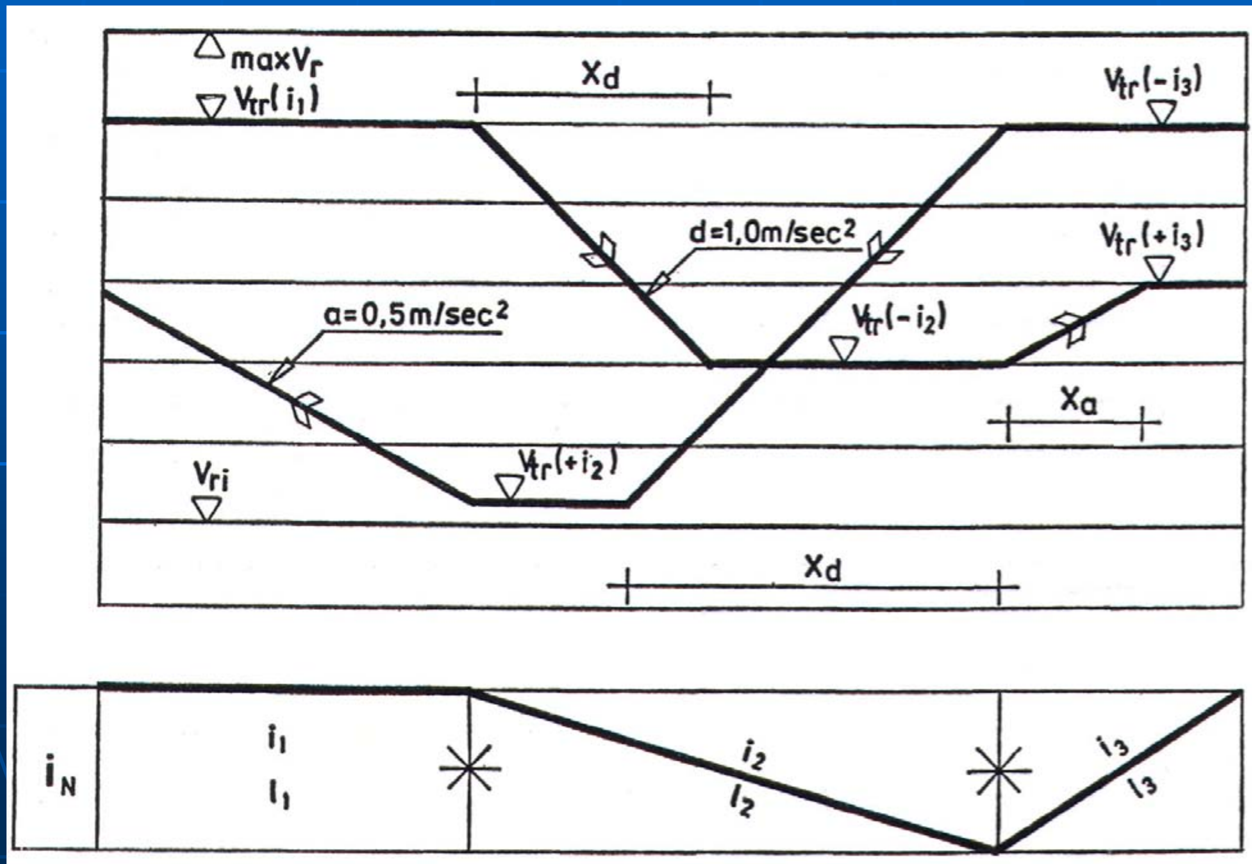
Профил пројектне брзине (правац-кружна кривина, јајаста кривина)



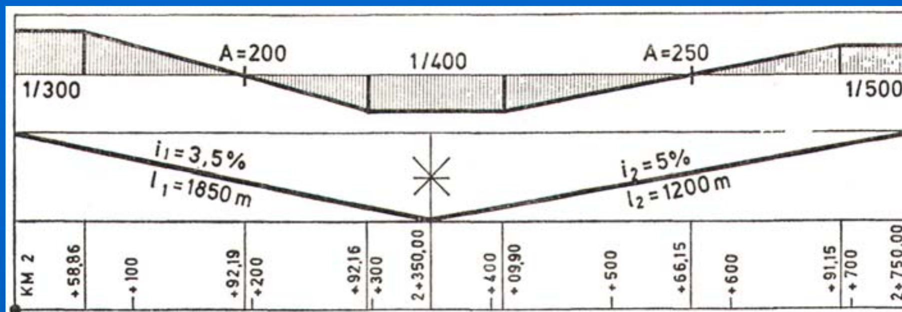
Профил пројектне брзине (кружна кривина-S кривина-кружна кривина)

дужина прекретне кривине омогућава маневре убрзања и успорења $X_a+X_d=L_1+L_2$, $X_a>0$, $X_d>0$ (најчешћи случај у пракси, блиски радијуси, а параметри кривине су већи од минималних)

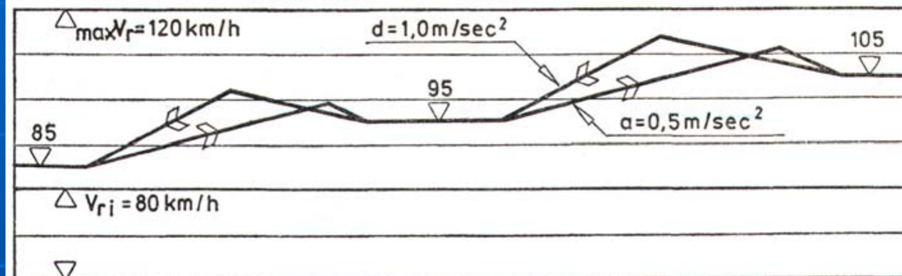
дужина прекретне кривине је мања од дужине пута убрзања у једном смеру вожње $X_a > L_1 + L_2$, $X_d = 0$ (смањити вредност брзине у кривини већег радијуса на брзину која одговара путу убрзања $X_a = L_1 + L_2 = f(\Delta v, a)$)



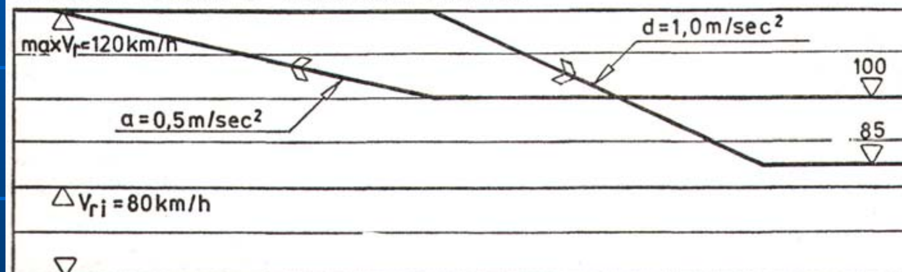
Профил пројектне брзине у вертикалној пројекцији



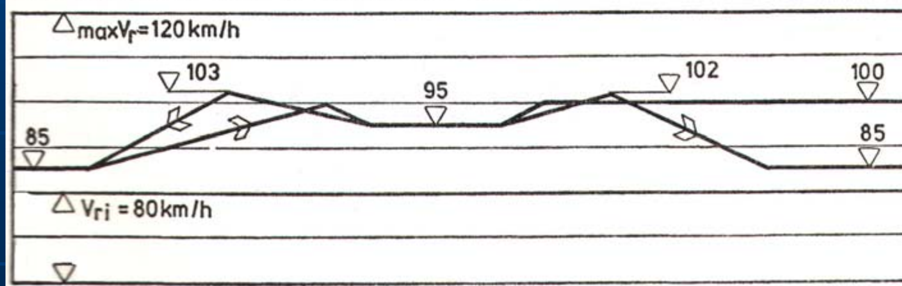
a. PROFIL BRZINA U SITUACIONOM PLANU



b. PROFIL BRZINA U PODUŽNOM PROFILU



c. REZULTUJUĆI PROFIL PROJEKTNE BRZINE



Резултујући профил пројектне брзине

- за даљу анализу су меродавне мање вредности из хоризонталне и вертикалне пројекције у оквиру једног смера
- ако су различите резултујуће брзине у кривини за два смера вожње, меродавна је већа вредност
- димензионисање попречног нагиба у кривини, димензионисање и провера зоне прегледности, захтеване прегледности, претицајне прегледности и схватљиве прегледности, корекција и усклађење елемената плана и профила до степена оптималне хармонизације, пројектовање саобраћајно-техничке опреме, поређење варијантних решења трасе и прогнозирање степена сигурности вожње
- анализе пројектне брзине се проводе током итеративног тражења оптималног решења трасе пута

- прорачун времена вожње и потрошње горива

примена у вредновању варијантних решења и доношења одлука у процесу трасирања

подаци: дужина деонице, брзина вожње, специфична потрошња горива, отпори кретању, оптерећење мотора

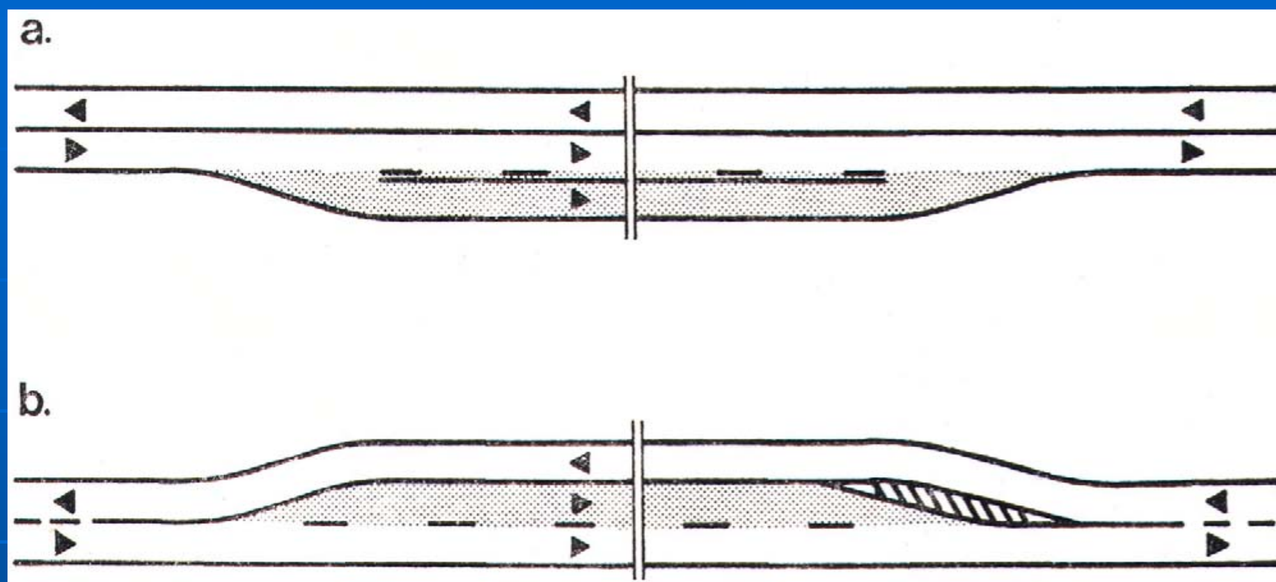
Милеров приближни поступак, Милеров Δt поступак, Грасманов поступак

- додатне саобраћајне траке

проширења коловоза ради одржања планираног нивоа услуге

могу се појавити на успону и/или паду

оправдана примена само код аутопутева и путева I и II разреда



Карактеристични облици додатних трака
(за спора возила и за претицање)

- разматрају се саобраћајни захтеви, захтеви безбедности и инвестициона улагања
- меродавна је трајна брзина теретног возила односно пад трајне брзине испод граничне вредности за разред пута (потреба за додатном траком, позиција додатне траке)

- саобраћајне анализе

  анализа пропусне моћи и нивоа услуге (вероватни ниво услуге по деоницама пута и средња брзина саобраћајног тока у складу са примењеним елементима пута)

  резултати се користе за упоређење варијантних траса, димазионисање критичних деоница које захтевају посебан третман (успони, површинске раскрснице, уливи-изливи и сл)

  анализа се врши последично када су познати пројектни елементи пута

  методологија HCM

  подаци: пројектна брзина, дужина деонице, саобраћајно оптерећење, геометрија пута

  аутопутеви (слободне деонице, денивелисане раскрснице) и двотрачни путеви (слободне деонице и површинске раскрснице)

- ✓ геометријске анализе

оцена степена усклађености пројектних елемената и указивање на евентуални несклад у просторној слици пута

највећу примену имају статистичке и оптичке методе испитивања

- кривинска карактеристика

поређење траса у функцији примењених елемената ситуационог плана

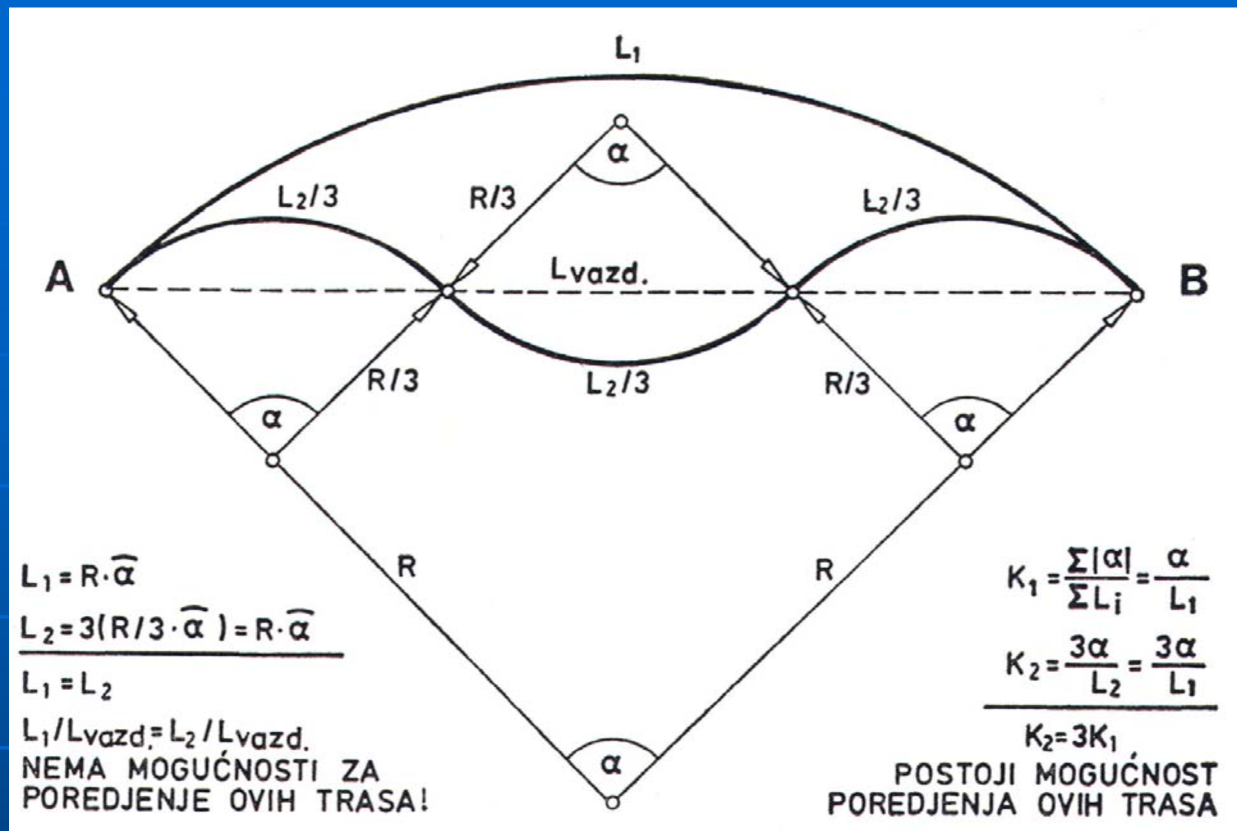
$$K = \frac{\sum|\alpha|}{L} \quad [g/km]$$ правци и кривине

$$K = \frac{\sum|\alpha + \tau|}{L} \quad [km/h]$$ континуални кривински облици

α - скретни угао кружне кривине [g]

τ - скретни угао прелазне кривине [g]

L - дужина посматране деонице [km]



Геометријска интрепретација кривинске карактеристике

средња вредност скретног угла на разматраној деоници-статистичка величина

није једнозначан параметар за трасу, па треба одредити и пратеће статистичке параметре (средње квадратно одступање и коефицијент варијације)

$$S = \sqrt{\frac{1}{\sum L_i} \cdot \left[\sum K_i^2 \cdot L_i - \frac{1}{\sum L_i} \cdot \sum (K_i \cdot L_i)^2 \right]} \quad [g/km]$$

$$V_k = \frac{S}{K} \cdot 100 \quad [\%]$$

ΣL_i - укупна дужина посматране деонице [km]

K_i - кривинска карактеристика појединог елемента [g/km]

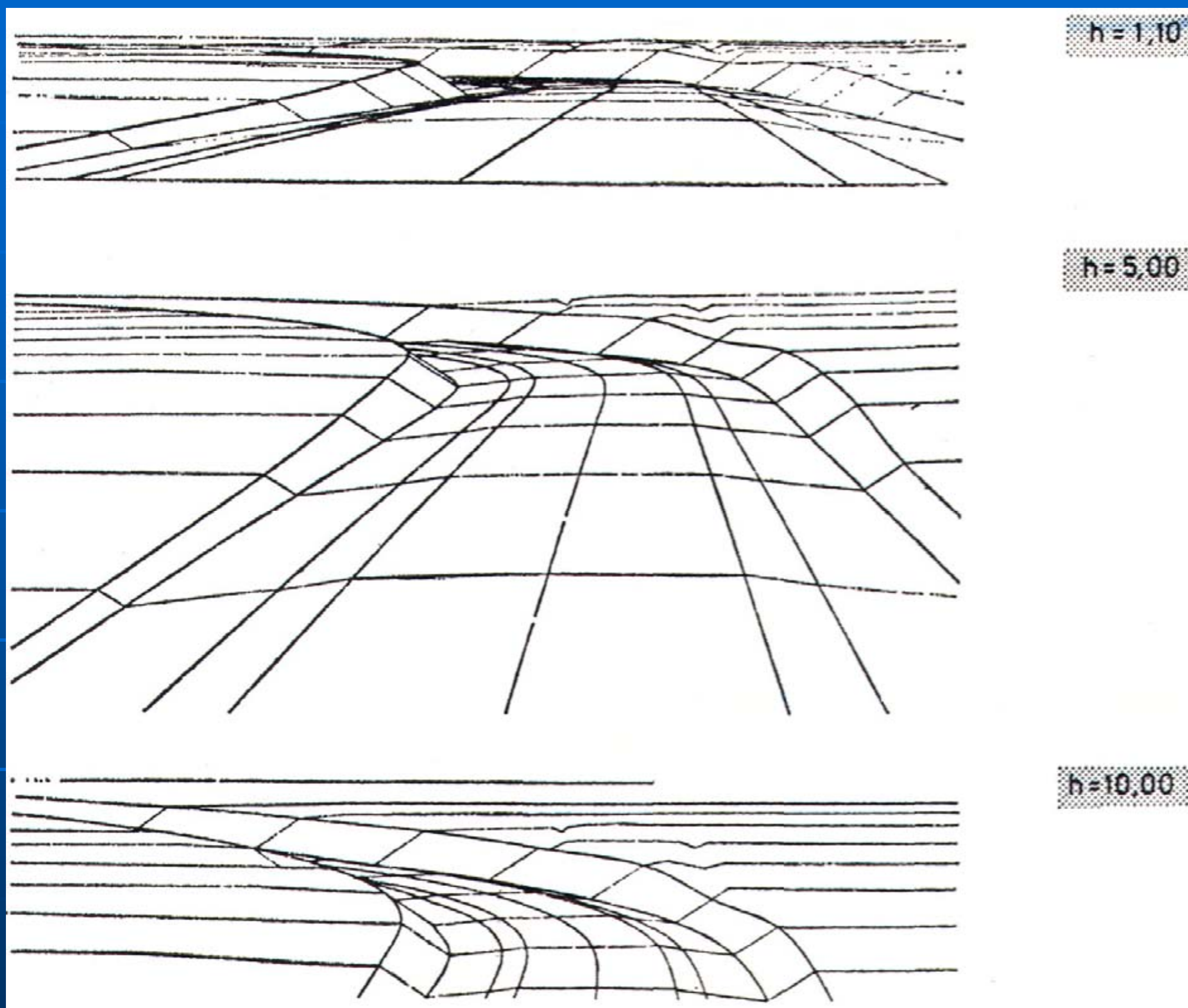
L_i - дужина појединог елемента [km]

- анализе оптичких ефеката

када би возач видео пут како је приказан у пројектима не би било проблема оптике

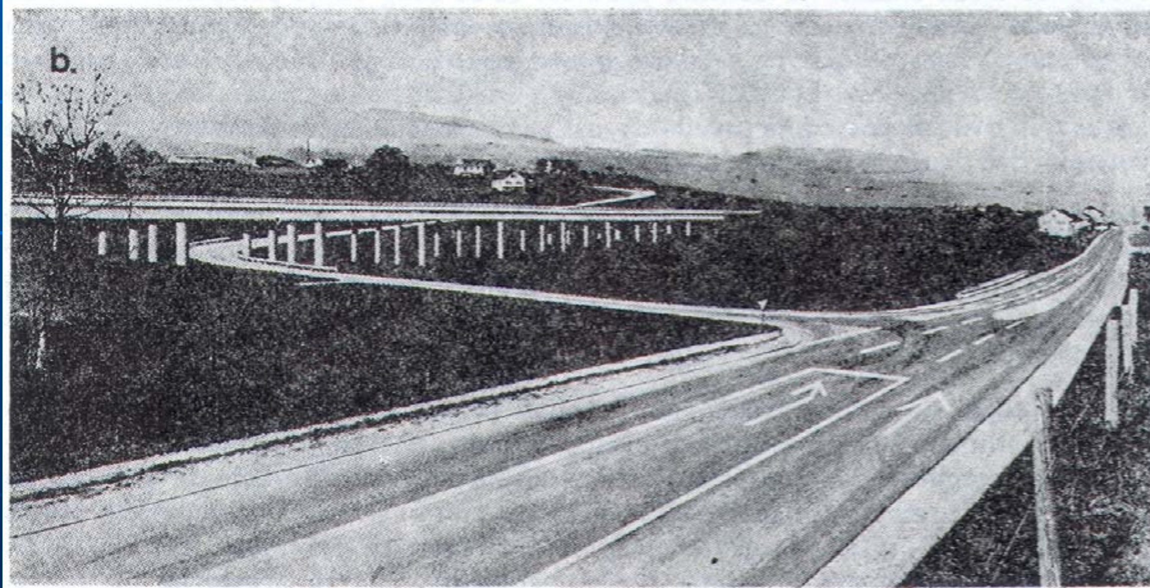
возач пут види само у перспективним сликама које се стално смењују и на основу њих дефинише понашање

- моделско испитивање трасе (просторни модели трасе у размери 1:250 - 1:500; оптичке анализе и информисање јавности при доношењу одлуке; могуће је анализирати интерне односе елемената трасе и уклапање у околни пејзаж)
- перспектографске анализе (геометријска конструкција централне перспективе за утврђене недогледе на основу ситуационог плана, подужног профила и попречних профила; рачунарски програми-опасност да се не сагледају и не уоче места где треба истражити побољшања; инверзна фотограметрија-уношење пројектованог пута у правилној размери у снимак постојећег терена
- симулатори вожње (адаптирани поступци који се користе у обуци пилота; користи се телевизијски снимак или синтетички произведен филм да би се изазвала реакција возача)



Перспективне слике путног одсека посматраног са различитих висина

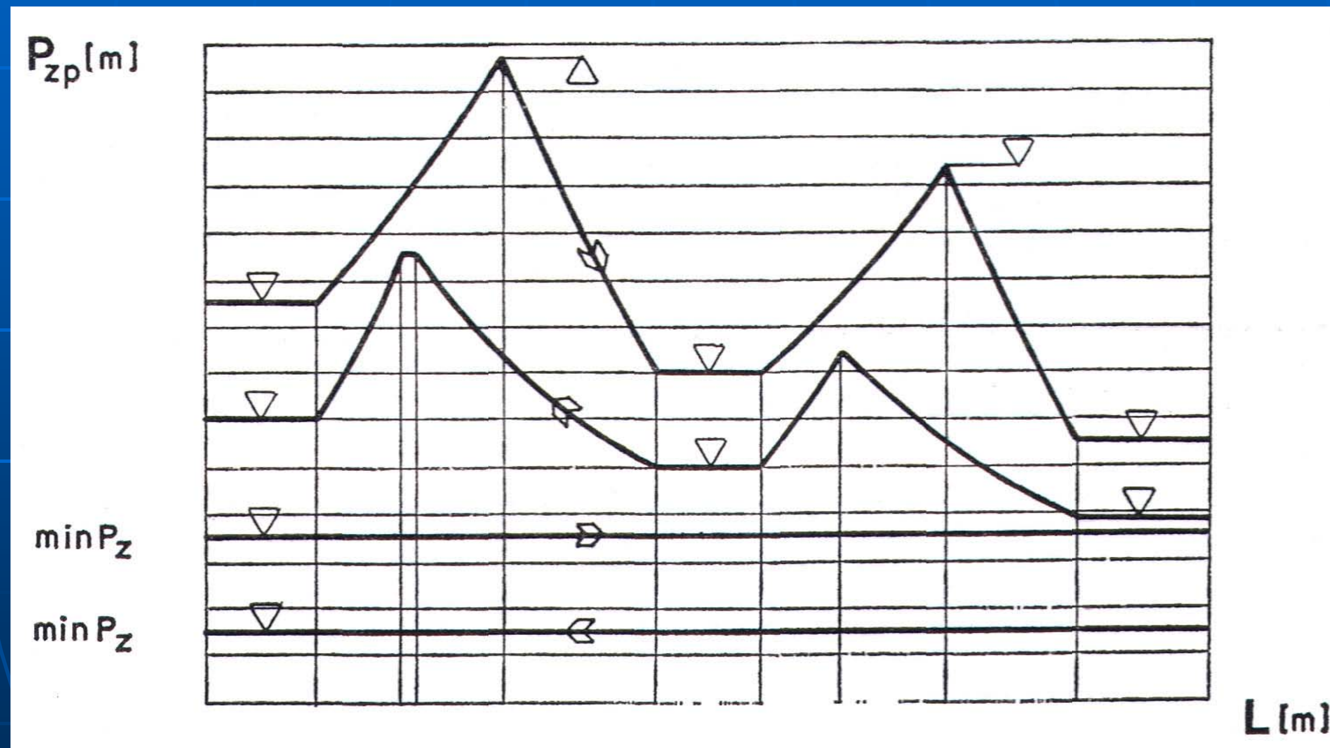




Инверзна фотограметрија
(постојеће и планирано стање)

основне оптичке контроле су утврђивање захтеване, расположиве и претицајне прегледности

профил захтеване прегледности се конструише за оба смера вожње



Профил захтеване прегледности

$$P_{zp} = \frac{t_r \cdot V_p}{3,6} + \frac{V_p^2}{254 \cdot \left(f_T + w_k \pm i_N\right)} + \Delta L \quad [m]$$

t_r - време реакције [s]

V_p - пројектна брзина на посматраној стационажи [km/h]

f_T - коефицијент тангенцијалног трења

w_k - коефицијент отпора котрљању

i_N - подужни нагиб пута

ΔL - сигурносни размак возила [m]

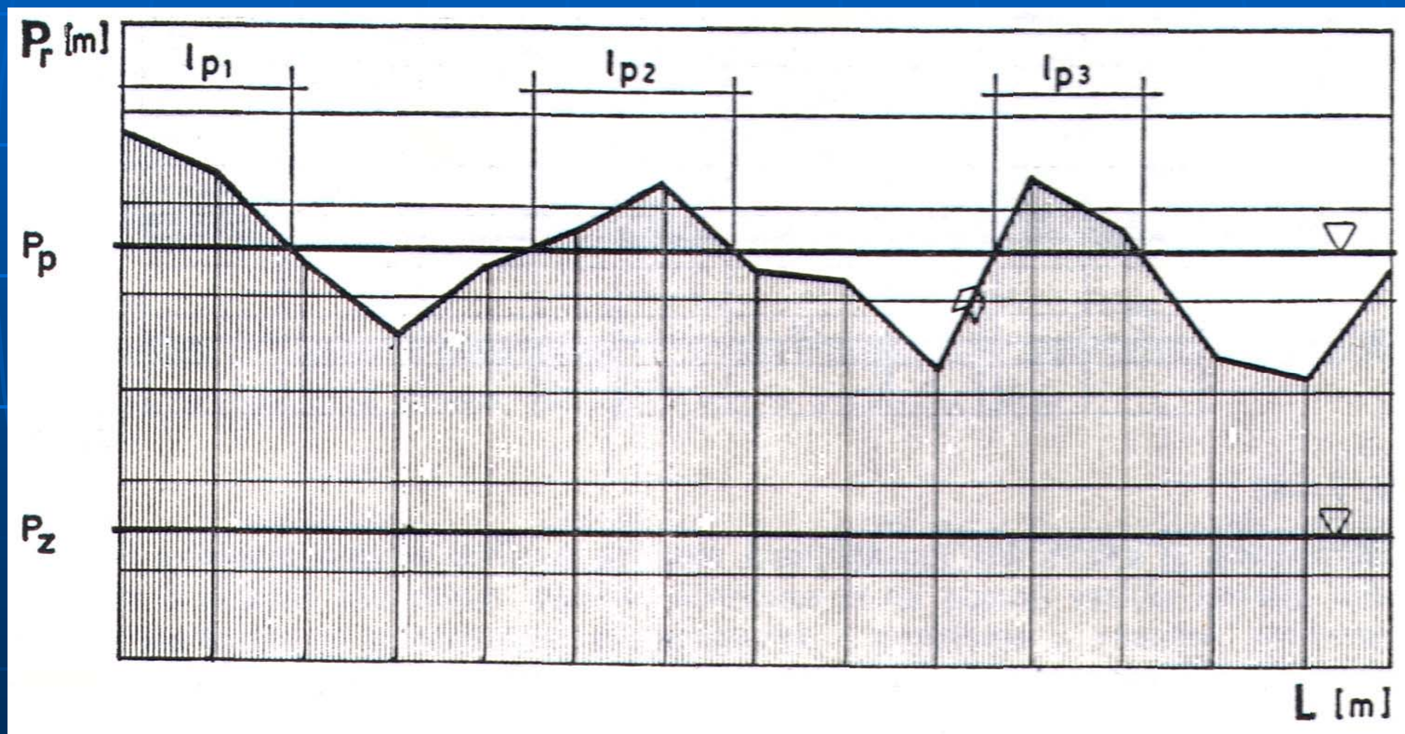
ако не постоји захтевана прегледност на неком месту потребно је предузети мере грађевинског побољшања (отварање усека и др)

дијаграм захтеване прегледности и дијаграм пројектне брзине су основа за израду пројекта саобраћајно-техничке опреме

расположива прегледност се утврђује просторном анализом трасе укључујући и стање околине

графички и аналитички поступци

из дијаграма се одређује проценат претицајне прегледности



Дијаграм расположиве прегледности

$$\%p = \frac{\sum_{1}^{n} l_{pi}}{L} \cdot 100 \quad [\%]$$

l_{pi} - дужина на којој је расположива прегледност већа или једнака претицајној прегледности [m]

L - укупна дужина трасе [km]

проценат остварене прегледности трасе има улогу у анализи пропусне моћи и нивоа сигурности на двотрачним путевима

- анализа услова одводњавања

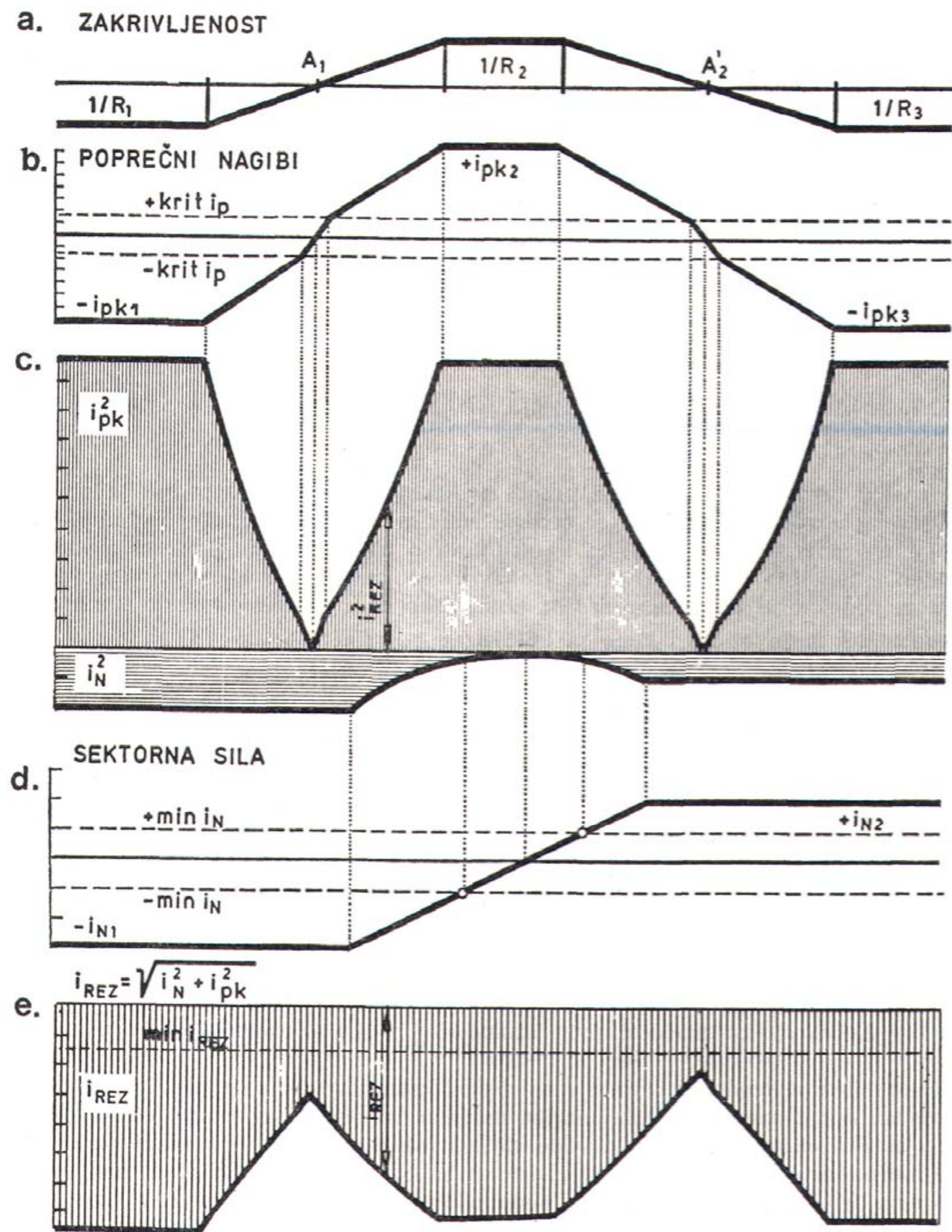
течење воде по коловозу је одређено градијентом најбржег пада

истовремена анализа ситуационог плана, подужног профила и попречног профила

дијаграм резултујућих нагиба коловоза

минимална вредност резултујућег нагиба 1,5 %

омогућава се правовремена корекција плана и профила да би се створили задовољавајући услови за одводњавање



Дијаграм резултујућих нагиба

- ✓ Повеља о водама Савета Европе (1968): “Трасирати значи: Сагледати на терену неки пут који ту још не постоји. Тај пут мора да задовољи многе услове: геометријске, динамичке, саобраћајно-техничке, пејзажне, оптичке, психолошке, климатске итд. Пошто се у грубим потезима утврди ток трасе, почиње право трасирање и обликовање. При томе обликовање није ствар за себе већ део целине јер се јавља као настојање да се постигне оно што желимо да доживимо на готовом путу. Искоришћују се лепа и погодна места, нова се стварају, препреке се савлађују вешто и чак са пуно дражи, остварује се целовито дело. Ето, то се захтева од трасирања и обликовања”